Д. Х. Медоуз
Дж. М. Робинсон

ЭЛЕКТРОННЫЙ ОРАКУЛ

Компьютерные модели и решение социальных проблем

ИЗДАТЕЛЬСТВО БИНОМ

D. H. Meadows
and
J. M. Robinson

The Electronic Oracle

Computer Models and Social Decisions

Reprint with forewords by
Dennis Meadows and John Sterman

System Dynamics Society
Albany, New York

Д. Х. Медоуз
Дж. М. Робинсон

ЭЛЕКТРОННЫЙ ОРАКУЛ

Компьютерные модели и решение социальных проблем

ЭЛЕКТРОННОЕ ИЗДАНИЕ

Перевод с английского
кандидата экономических наук
Е. С. Оганесян

Под редакцией члена-корреспондента РАН,
доктора химических наук,
профессора Н. П. Тарасовой



Москва
БИНОМ. Лаборатория знаний
2013

УДК 004.9
ББК 20.18
М42

Электронный аналог печатного издания: Электронный оракул. Компьютерные модели и решение социальных проблем / Д. Х. Медоуз, Дж. М. Робинсон ; пер. с англ. Е. С. Оганесян ; под ред. Н. П. Тарасовой. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 527 с. : ил.

Медоуз Д. Х.

М42 Электронный оракул. Компьютерные модели и решение социальных проблем [Электронный ресурс] / Д. Х. Медоуз, Дж. М. Робинсон ; пер. с англ. Е. С. Оганесян ; под ред. Н. П. Тарасовой. — Эл. изд. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 527 с. : ил.

ISBN 978-5-9963-2122-3

Несмотря на грандиозные достижения технологий, повсеместное распространение компьютеров, видеоигр и компьютерных моделей, содержание этой книги, впервые изданной в 1985 г., совершенно не утратило актуальности и имеет значимость сегодня ничуть не меньше, чем во времена первого издания. Процедуры, которые авторы разработали для того, чтобы выявлять скрытые предположения, проверять правильность оценок и тенденций, по умолчанию заложенных в модель, показывать некорректность методов, не дающих клиентам и разработчикам учиться и делать верные выводы, имеют очень большое значение и в настоящее время. Они позволяют эффективно использовать моделирование и получать от него практическую пользу в реальном мире. Книга частью предугадала, а частью сформировала новые важные представления и идеи в области системной динамики, включая значение моделирования для обучения, групповые разработки моделей, системное мышление и организационное обучение.

Для разработчиков моделей, ученых, публичных деятелей, политиков и управленцев.

УДК 004.9
ББК 20.18

По вопросам приобретения обращаться:
«БИНОМ. Лаборатория знаний»
Телефон: (499) 157-5272, e-mail: binom@Lbz.ru, http://www.Lbz.ru

© 1985 International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).
Перевод публикуется и продается с разрешения IIASA, владельца всех прав на публикацию и продажу этого произведения
© Предисловие. Деннис Медоуз, 2007
© Предисловие. Джон Стерман, 2007
© БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. Авторизованный перевод английского издания

ISBN 978-5-9963-2122-3

Посвящение

Джеральду О. Барни, благодаря которому мы начали работу и не останавливались на полпути, и Хью Дж. Майзеру, который настоял, чтобы мы довели ее до конца.

Выражение благодарности

Мы благодарим издательство *John Wiley & Sons*, а также владельца авторских прав, Международный институт прикладного системного анализа (International Institute for Applies Systems Analysis, IIASA), за разрешение на публикацию репринтного издания.

Особую признательность мы выражаем Деннису Медоузу и Джону Стерману, которые написали предисловия к этой книге.

Кроме того, мы должны поблагодарить Джейн и Аллена Бурштейнов и множество анонимных жертвователей, собравших первоначальный взнос на публикацию книги. Без этого выпуск репринтного издания был бы невозможен.

Обращение к российским читателям

Творчество Донеллы Медоуз (Даны, как звали ее многочисленные друзья и коллеги) знакомо многим читателям в нашей стране благодаря книгам «Пределы роста», «За пределами роста» и «Пределы роста: 30 лет спустя». Последняя работа увидела свет уже после скоропостижной кончины Даны и была посвящена соавторами — Деннисом Медоузом и Йоргеном Рандерсом — ее памяти. Именно «легкое перо» Даны помогло многочисленной читательской аудитории воспринять мировоззрение устойчивого развития и трансформировать его в конкретные поступки каждодневной жизни. Донелла Медоуз была и остается в благодарной памяти друзей и учеников подлинным «гражданином мира».

Книга «Электронный оракул» на русском языке публикуется впервые. Написанная Даной в сотрудничестве с Дженнифер Робинсон, она представляет собой удачный пример анализа различных подходов к моделированию сложных социально-экономических систем (подзаголовок книги — «Компьютерное моделирование и социальные решения»). Появлению книги предшествовал длительный период сбора материала, бесед с разработчиками и пользователями моделей. Донелла умела и любила общаться с людьми. Разделяя позицию Ауреллио Печчеи, основателя и многолетнего президента Римского клуба, она считала «человеческие качества» важнейшим фактором, приведшим к возникновению глобальных проблем, а их совершенствование — единственным способом избежать коллапса современной цивилизации. Поэтому читатель «Электронного оракула» часто встретит на его страницах описание мотивов, двигавших заказчиками и разработчиками моделей. Другой особенностью книги является достаточно большое количество цитат, которыми подтверждаются суждения авторов. «Электронный оракул» — новаторская для 70-х годов XX века работа, поэтому такой подход представляется оправданным. Столкнувшись с валом критических статей, обрушившихся на вышедшую несколькими годами ранее книгу «Пределы роста» (теперь, 40 лет спустя, очевидно, что критика в основном носила конъ-

юнктурный характер), Дана предпочла таким образом облегчить судьбу «Электронного оракула». В настоящем издании мы сочли возможным, без ущерба для основного содержания, опустить в некоторых главах многочисленные цитаты.

Первые две части книги — «Введение» и «Основные принципы моделирования» — переведены без сокращений. Во-первых, потому, что в них мало цитат. Во-вторых (и это главное!), потому, что в них изложены основополагающие понятия, использующиеся в компьютерном моделировании, и подробно рассмотрены четыре основных метода/подхода/парадигмы в этой области: системная динамика, эконометрика, межотраслевой баланс (метод «затраты-выпуск») и оптимизация. На этой четверке базируются любые варианты моделей. Правда, для реального использования пригодны не все возможные сочетания методов. Например, принципиальные положения эконометрики и системной динамики различаются настолько, что такой гибрид абсолютно нежизнеспособен. Этому вопросу посвящен подраздел 2.5 («Пример конфликта парадигм: эконометрика и системная динамика»).

Следует особо отметить, что ни в одной другой книге не проводится такой глубокий анализ различных методов моделирования, их сравнение, сопоставление сильных и слабых сторон, — в этом отношении «Электронный оракул» просто уникален. В отличие от многих других авторов, мысливших исключительно в рамках своей дисциплины, Донелле удалось подробно изложить суть каждого метода и объективно оценить его пригодность для практических целей.

В части III описаны девять моделей, причем каждая подробно разобрана по одному и тому же плану: организационные вопросы (как, когда, кем и для кого создавалась модель), какая была поставлена цель (и была ли она достигнута), какие применялись методы (и обоснован ли сделанный выбор), каковы границы и структура модели, какие данные положены в ее основу, какие выводы сделаны разработчиками, как проводилось тестирование модели (и проводилось ли оно вообще), была ли модель применена на практике, предъявлялись ли специфические требования к мощности компьютера и сопровождалась ли разработка подробной и понятной документацией. Эта часть книги переведена с сокращениями, но не в ущерб основному смыслу. Сохранены все ключевые для понимания подразделы, убраны только сугубо технические детали. Те читатели, кому интересны такие тонкости (например, для самостоятельного воссоздания модели), все равно будут вынуждены обратиться к исходным материалам (в идеале — к самому программному коду) или к блок-схемам, если они сохранились у разработчиков. В оригинальном издании эти данные все равно не приводились.

Хотя со времени написания книги «Электронный оракул. Компьютерные модели и решение социальных проблем» прошло несколько де-

сятилетий, ее содержание абсолютно не утратило актуальности. Хотя вычислительная техника и стала на порядки мощнее, появилось самое разнообразное программное обеспечение, тем не менее все базовые принципы моделирования (а также основные заблуждения и ошибки в применении) остались в силе. Именно этому посвящена часть IV **книги**. В ней анализируется положение дел по ключевым для глобальной проблематики областям: рост численности населения, особенности производства и распределения, изменения в технологиях, миграция и распределение рабочей силы, окружающая среда и природные ресурсы. Эти разделы переведены с небольшими сокращениями, в основном за счет цитат.

В главе 14 приводятся критерии для оценки качества моделей, и это тоже отличает «Электронного оракула» от многих других работ, авторы которых зачастую описывают конкретные методы и собственные модели. Донелла Медоуз идет значительно дальше, формулируя общие критерии, имеющие универсальный характер и применимые к любой модели. Глава 15 показывает «кухню» разработчиков, повествуя о целях тех, кто заказывает модели, и тех, кто их создает, о побочных эффектах и неожиданных последствиях, о непонимании между представителями разных областей деятельности. Об этом и сегодня мало кто задумывается, еще меньше людей отваживаются поднять этот вопрос среди коллег, и лишь единицы способны открыто написать об этом в статье или книге. Донелла же не только четко обозначила подобные проблемы, но еще и дала рекомендации, чтобы улучшить положение дел в компьютерном моделировании, — этому посвящена часть V. **И читается этот текст так, словно написан он совсем** недавно, а не в семидесятые годы прошлого века. Дана всегда думала о будущем.

В заключение несколько слов о переводчице книги. Екатерина Оганесян с отличием окончила факультет кибернетики химико-технологических процессов Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева. Она — кандидат экономических наук, член Балатонской группы, лауреат Фонда Донеллы Медоуз.

Н. П. Тарасова,
член-корреспондент РАН,
профессор

О Дане Медоуз

Мы приняли решение выпустить репринтное издание «Электронного оракула» во время ежегодной встречи Международного общества системной динамики, проходившей в 2001 г. в Атланте, шт. Джорджия. В ходе той встречи Джон Стерман собрал группу докладчиков, выступления которых были посвящены основным положениям, сформулированным в свое время Донеллой Медоуз, и подчеркивали важность ее работ для развития системной динамики. В кругу друзей все называли ее Даной. Я был одним из докладчиков группы и упомянул многочисленные публикации Даны, подчеркнул особую роль, которую сыграла книга «Электронный оракул», и выразил сожаление, что больше она не издавалась. Для многих студентов и исследователей, серьезно изучающих системную динамику и применяющих математическое моделирование, чтобы разобраться в поведении сложных социальных и экономических систем, эта работа до сих пор служит уникальным источником информации.

Дана начала работать в области системной динамики уже после получения ученой степени и завершения формального образования. К этому моменту она уже имела степень доктора философии, полученную в Гарвардском университете, и обладала довольно широкой известностью среди биофизиков. Однажды вечером, в июне 1970 г., я принес домой экземпляр работы Джея Форрестера «Принципы систем». Дана прочитала ее от корки до корки и решила оставить работу в одной из самых престижных лабораторий Гарварда, которую она вела как доктор наук, чтобы присоединиться к группе исследователей, которую я формировал по заданию Римского клуба для детальной проработки глобальной модели *World2* Джея Форрестера. Дана стала центром нашей группы, именно она разрабатывала демографическую подсистему глобальной модели и была ведущим автором «Пределов роста», самой известной нашей книги.

В 1972 г. Дана и я перешли в Дартмут-колледж, и там она стала не только первой женщиной, получившей должность постоянного штатного профессора, но и вообще первой женщиной-профессором,

имеющей степень доктора и утвержденной попечительским советом. В каком-то году ее даже признали самой выдающейся женщиной — молодым ученым в США.

Вместе с другими исследователями в Дартмуте мы разрабатывали две новых академических программы, одна была предназначена для студентов старших курсов, другая — для аспирантов. В основе обеих лежали системный анализ и разработка стратегий. Дана была замечательным преподавателем — талантливым, творческим, целеустремленным, внимательным, самоотверженным. Она чувствовала, что ее важнейшая профессиональная задача — донести информацию до студентов и коллег и вдохновить их на дальнейшие исследования. Она всегда щедро делилась идеями и пробуждала стремления к лучшему практически во всех, кто ее окружал. Многие действующие специалисты в области системной динамики, сейчас уже состоявшиеся ученые, в свое время «взяли старт» благодаря совместной работе с Даной.

Хотя ее профессорская работа была очень успешной, тем не менее условности и ограничения академической жизни тяготили Дану, поэтому через некоторое время она решила оставить должность и профессорский пост. В Дартмуте раньше такого никогда не происходило, администрация колледжа оказалась в затруднительном положении. В итоге Дана приняла назначение на должность приглашенного профессора, осталась работать в прежнем кабинете и вести ежегодно по одному курсу на дартмутском факультете журналистики в области окружающей среды. Это позволило ей уделить основное внимание писательскому труду, созданию собственных книг.

Дана писала много. Сотни ее статей выходили в газетах и журналах. Было издано много работ, «Электронный оракул» в их числе. Хотя Дана и Дженнифер Робинсон начали исследование для этой книги еще в 1975 г., больше 30 лет назад, материалы «Оракула» по-прежнему остаются очень важным источником информации в области системной динамики, причем не только для преподавателей и учителей, но и для аналитиков, управленцев, консультантов и даже философов.

Я сам разрабатывал модели, преподавал и использовал системную динамику более 35 лет и до сих черпаю вдохновение и новые идеи в строках, написанных Даной, касается ли это теоретических основ или уровней практического мастерства при моделировании. Работы Даны — настоящий клад для тех, кто хочет понять принципы системной динамики, расширить собственные знания, преподать навыки другим или добиться большей эффективности в представлении результатов моделирования заказчикам.

На встречах Стратегического совета в Обществе системной динамики часто обсуждается вопрос качества моделей. По этому поводу Джей Форрестер недавно заметил: «В Обществе системной динамики

нет культуры активной критики, принятой в других сообществах». Однако Дана пришла в системную динамику из биофизики, а в этой области как нигде критично относятся к результатам, всегда подвергают их внимательной проверке. Там принято, чтобы каждая работа сначала прошла защиту, и это продвигает вперед всю отрасль знаний. Дана привнесла в нашу группу культуру активной критики; эта тема и связанные с ней предубеждения занимали важное место в ее книгах и статьях.

Во многих из них содержатся мудрые наблюдения о значении моделей, их преимуществах и недостатках. Глубже всего этот вопрос рассмотрен в книге, которую вы держите в руках ее впервые опубликовало в 1985 г. издательство *John Wiley & Sons*.

В «Оракуле» проводится подробный разбор девяти различных моделей, связанных с экономическим и социальным развитием, — моделей, получивших широкое признание. Они были разработаны с использованием тех или иных парадигм, принципиально разных систем взглядов, образующих «большую четверку»: эконометрика, межотраслевой баланс (метод «затраты-выпуск»), системная динамика и оптимизация. Дана всегда очень внимательно подходила к любому исследованию, поэтому она не только тщательно проанализировала отчеты по каждой модели, но и изучила все классические работы, которые можно отнести к каждой из четырех парадигм. Критически разобрав особенности каждой модели, Дана написала несколько глав, посвященных методологии моделирования. Даже сегодня ее работа остается самой глубокой из всех, что посвящены этой теме. Она необычайно полезна для того, чтобы оценить, каких результатов удалось достичь в области моделирования, и что гораздо важнее, чем еще только предстоит заняться.

В «Оракуле» Дана писала:

«...Социальные проблемы очень стойки, от них трудно избавиться. Они остаются и продолжают проявлять себя даже тогда, когда мы применяем самые изощренные и совершенные научные методы, системы коммуникаций, спутники, модели и базы данных, какие только разрабатывались в мире. В то же время компьютерное моделирование — область, которая дает реальный шанс развить глобальный уровень понимания и обеспечить лучшее будущее человечеству, позволить ему развязать узлы, которые иначе будут затягиваться все туже, — на самом деле продолжает упорствовать в заблуждениях и само демонстрирует извращенное поведение:

- моделирование по-прежнему концентрируется не на самых важных элементах систем, а на тех, которые легко поддаются численному учету;
- огромные силы и внимание тратятся на то, чтобы добиться незначительного улучшения в точности расчетов, хотя гораздо полезнее было бы проводить детальное тестирование модели на правдоподобность и адекватность;

- по умолчанию считается, что в основе разрушительного поведения лежит социальная структура. Это особенно подчеркивается, хотя правильнее было бы ставить вопросы о долговременных целях, разрабатывать содержательные индикаторы социального развития и предлагать меры по изменению структуры системы;
- разработчики создают сложные «черные ящики», которые широкая публика должна просто принимать на веру, поскольку ей все равно никто не может объяснить суть и внутреннее содержание модели…;
- моделированию редко удается продемонстрировать уникальность и сильные стороны своего подхода: возможность сосредоточить внимание на системе как целом [а не частностях] и проследить изменения в долговременной перспективе **[а не уповать на временные меры, дающие** лишь краткосрочный эффект];
- многие модели и разработки неправдоподобны, не используются на практике и даже не фиксируются документально, хотя было бы очень полезно, чтобы другие учились на наших ошибках».

Все мы склонны приукрашивать свои достижения, и специалисты по системной динамике часто тешат себя мыслью о том, что они не совершают такого количества ошибок, как приверженцы эконометрики, линейного программирования или межотраслевого баланса. Вероятно, это действительно так. По крайней мере, я на это надеюсь. Но все прекрасно понимают, что перечисленные выше критические замечания можно отнести практически ко всему, что мы делаем. Но так поступать не надо.

Дана создавала свои книги не ради того, чтобы просто критиковать, — она хотела добиться изменений в принятых методах и целях работы. И предложила конкретные меры для этого.

В «Оракуле» она пишет:

«…создатели моделей осознают и признают собственное несовершенство. Они описывают лучшие подходы, которым могли бы следовать все, чтобы достичь большей эффективности. Но затем сами их не используют! Разумеется, на то есть системные, структурные причины. Но на этом всё и заканчивается, и все дальнейшие разговоры бесполезны».

Многие из нас сосредоточены на том, чтобы защитить свои работы и достижения. Дана же ставила задачу защитить мировое сообщество. Она считала компьютерное моделирование, без сомнения, самым мощным инструментом для изучения всех важных проблем современности. Однако при этом признавала и недостатки, присущие нашим методам, и ограничения, которые накладывает принятая профессиональная практика. Дана безгранично верила в то, что можно поступать лучше, надеялась, что так и будет, и прилагала силы к тому, чтобы мир стал справедливее и пошел по правильному, устойчивому пути.

В завершение этого предисловия приведу притчу, которую очень любила рассказывать Дана. Ей вообще очень нравились суфийские истории и сказания, многие века передававшиеся из уст в уста. Во многих из них речь идет о Ходже Насреддине, который странствовал по Востоку, вел очень простой образ жизни, но при этом отличался большой мудростью суждений и глубоким пониманием социальных систем. В одной из книг Даны с этой притчи начинается целый раздел:

Проходивший мимо сосед увидел, как Насреддин ищет что-то в уличной пыли под фонарным столбом неподалеку от своего дома. «Уважаемый, что ты ищешь?» — спросил сосед. Насреддин ответил: «Да вот, ключи потерял». Оба опустились на колени и продолжили поиски уже вместе. Но сколько они ни искали, ключи все никак не удавалось найти.

Через некоторое время сосед спросил: «Уважаемый, а ты уверен, что потерял ключи именно здесь, на улице?» «Да нет же!» — ответил Насреддин. — «Я их в доме потерял». «Но если ты потерял их в доме, — удивился сосед, — почему же мы ищем их тут, под фонарным столбом?» «Так ведь тут света больше», — ответил Насреддин.

Дана считала историю о бесплодных поисках Насреддина замечательной метафорой, очень точно описывающей большинство усилий в области компьютерного моделирования. Это напрасные поиски решений там, где «света больше» — где проще получить финансирование, добыть данные, описать интересы клиента; где политические веяния и тенденции делают работу более привлекательной и выгодной. Дана всегда выбирала другой путь и всю свою профессиональную жизнь искала ответы на важные вопросы там, где темно. И по ходу дела ей удалось найти и оставить нам немало решений и важных представлений, которые определяют будущее нашей области знаний. Многие из них приведены в этой книге.

Деннис Медоуз
Дарем, Нью-Гемпшир, США
Январь 2007 г.

О репринтном издании «Электронного оракула»

Есть ли смысл в том, чтобы переиздавать книгу о компьютерном моделировании, которая вышла еще в 1985 г., а описывает результаты моделирования, полученные и того раньше? В те годы компьютеры были огромного размера, стоили безумно дорого и были доступны лишь немногим техническим лабораториям, обладавшим большими бюджетами. Тогда еще не появился Интернет. Данных было мало, и по большей части на них нельзя было полагаться. Методы системного анализа появились незадолго до того, и лишь малая толика аудитории непосредственно имела дело с имитационным моделированием. Сегодня все иначе, не так ли? Но ведь не зря говорят: «Чем больше вещи меняются, тем больше они остаются как были». Несмотря на грандиозные достижения технологий, повсеместное распространение компьютеров, видеоигр и компьютерных моделей, содержание этой книги совершенно не утратило актуальности и имеет значимость сегодня ничуть не меньше, чем во времена первого издания.

«Электронный оракул» исследует методы и влияние системного анализа и компьютерного моделирования, прежде всего, на социальную политику. Дана и Дженни вовсе не стремились создать теоретический труд на тему «как следует проводить моделирование» — они приводят конкретные примеры того, как в том или ином случае моделирование было выполнено на практике. Это отчет о практической работе: «Оракул» раскрывает строение моделей; явные или скрытые положения, лежащие в основе различных методов моделирования; технику процесса и влияние моделирования на реальный мир. Авторы детально изучают девять моделей, созданных для изучения проблем экономического развития, распределения ресурсов, защиты окружающей среды. Выводы, которые Дана и Дженни предлагают в книге, стали результатом многих тысяч часов кропотливой работы. Для каждой модели надо было собрать всю доступную документацию, отчеты, статьи о результатах, статистические сводки и другие архивные данные, на основе которых строилась модель, а также информацию о том,

как она была представлена широкой публике и лицам, принимающим решения, какие отклики вызвала, как была использована. В некоторых случаях удалось получить даже программные исходники. Дана и Дженни полагали, что разработчики моделей, как положено ученым, следуют соответствующему научному методу и поддерживают в порядке документацию на модели, чтобы ее в любой момент можно было получить и проанализировать. Однако они очень быстро выяснили, что на самом деле документация фрагментарна, не упорядочена, что многие из моделей воссоздать невозможно и что зачастую методы моделирования накладывают ограничения на выбор и формулировки изучаемой проблемы, хотя при правильном подходе надо действовать наоборот и подбирать модель под цели и потребности клиента. В лучшем случае модели имели ограниченную область применения. Помню, как меня поразили кипы документации в кабинете Даны — каждая относилась к отдельной модели. Они лежали там годами. Чтобы разобрать любую из них, требовались месяцы напряженного труда, хотя бы для того, чтобы создать граничную диаграмму модели и выяснить, какие положения заложены в нее по умолчанию, а какие важные соображения, относящиеся к проблеме, упущены или исключены из рассмотрения. Любой создатель моделей должен обладать опытом воссоздания и толкования модели другого разработчика, и тогда важность полной и точной документации никто не будет подвергать сомнению. Модели должны быть воссоздаваемы и прозрачны; цели моделирования следует формулировать четко и понятно; необходимо приводить исходные данные и открыто заявлять о предпосылках и побудительных мотивах.

Так что же мы имеем в результате? Модели, которые Дана и Дженни подвергли столь детальному разбору, использовали целый диапазон различных методов, включая эконометрику, линейное программирование, межотраслевой баланс и системную динамику. Хотя уровень всех этих моделей выше среднего (по мнению как их создателей, так и других разработчиков моделей, клиентов и спонсоров), Дана и Дженни обнаружили: «несоответствия между целями и методами; пробелы в документации; абсурдные предположения, погребенные под сверхсложными структурами; выводы, которые на самом деле вовсе не следуют из результатов моделирования; управленческие стратегии, которые исключают всякую возможность повлиять на текущие тенденции». Несмотря на некоторые существенные успехи, достигнутые в моделировании, на сегодняшний день его использование в бизнесе и социальной политике производит гнетущее впечатление.

Модели, приведенные в «Оракуле», больше не используются на практике. Но процедуры, которые Дана и Дженни разработали для того, чтобы выявлять скрытые предположения, проверять правильность оценок и тенденций, по умолчанию заложенных в модель,

показывать некорректность методов, не дающих клиентам и разработчикам учиться и делать верные выводы, имеют очень большое значение и сегодня. Они позволяют использовать моделирование эффективно и получать от него практическую пользу в реальном мире. Книга частью предугадала, а частью сформировала новые важные представления и идеи в области системной динамики, включая значение моделирования для обучения, групповые разработки моделей, системное мышление и организационное обучение. Дана и Дженни с увлечением и свойственным им обеим чувством юмора показали нам, *как* разработчики моделей, ученые, общественные деятели, политики и управленцы могут стать лучше. Несмотря на значительный прогресс в разработке программного обеспечения, аппаратных платформ и методов моделирования, достигнутый со времени создания книги, практика применения моделирования для конкретных целей сильно отстает в развитии. Мы до сих пор не осознали присущее авторам ви́дение мира, в котором создатели моделей не только следуют строгим научным методам, но при этом еще и скромны, непредвзяты, ответственны, проницательны, объективны, способны к сопереживанию и преданы своему делу.

Джон Стерман
Кембридж, Массачусетс, США
Январь 2007 г.

Вступление

Мы начали писать эту книгу в 1974 г., а первый черновой вариант был готов в 1980 г. Но после этого распечатка пролежала на моем столе три года, подпирая часы и загораживая вид из окна, и было похоже, что она останется там навечно. Мы вернулись к работе над книгой и в итоге подготовили ее к печати в первую очередь потому, что нас постоянно подталкивал Хью Майзер — он был в курсе дел с самого начала, поскольку руководил отделом публикаций в Международном институте прикладного системного анализа (IIASA). Его энтузиазм был неиссякаем даже после того, как он оставил свой пост, и однажды он использовал аргумент, против которого не в силах устоять ни один автор: сказал, что книга слишком важна для всей области знаний, чтобы ее можно было оставить «в столе». Так это или нет на самом деле, но аргумент сработал. Я сделала еще одну редактуру текста, добавила последнюю главу, и в итоге книга попала в руки к читателям.

Наверное, стоит объяснить, почему подготовительный этап занял так много времени, почему работа над рукописью практически остановилась и почему в итоге я все-таки убедила себя в том, что книга актуальна и заслуживает издания, несмотря на то, что рассмотренные в ней примеры были собраны десятью годами ранее. Пока мы готовили текст, Дженни Робинсон и я больше занимались преподаванием и исследованиями по системному анализу, чем оценкой текущего положения дел в нашей области знаний. За исключением первого года работы, когда мы собирали данные и читали описания десятков моделей, к книге мы возвращались лишь время от времени и готовили ее, можно сказать, «на общественных началах». Помимо всего прочего, я занималась фермерством, преподавала в Дартмуте, проводила собственные исследования по управляемости систем и способам избавить мир от проблемы голода и недоедания. Дженни тем временем получила степень магистра естественных наук в области экономики сельского хозяйства, участвовала в исследовании *Global 2000*, разрабатывала модели для института IIASA и вдобавок вернулась к обязанностям

доктора географических наук в Санта-Барбаре. Между делом ей удалось еще и спроектировать и построить собственный дом.

К тому моменту, когда книга оказалась «в столе», мы закончили практически всё, кроме нескольких фрагментов, вызывавших наибольшие затруднения. Мы отчаянно пытались отследить хоть какое-то влияние, которое выбранные модели оказали на реальный мир, и не могли определиться с тем, как закончить книгу. К тому же работа над ней порядком нас утомила, а впереди ждали новые, чрезвычайно интересные темы. Лучшие (с моей точки зрения) части книги уже были опубликованы в виде отдельных материалов и статей. Я никогда не стремилась печататься ради того, чтобы увековечить собственные труды, — издаваться надо только тогда, когда действительно есть что сказать. Вот поэтому книга и ждала своего часа так долго.

Вернувшись к ней тремя годами позже, я с удивлением и даже некоторым смятением увидела, что она ничуть не утратила своей актуальности. Хотя появились более свежие экономико-демографические исследования, которые мы могли бы включить в нее, но принципиальных отличий от нашего материала в них не было — ни в идеях, ни в методах, ни в содержании, ни в эффективности реализации. Список соображений и рекомендаций по улучшениям для разработчиков за прошедшие годы не изменился вообще ни на йоту, и похоже, что как раньше им никто не следовал, так и теперь не следует. Насколько мне известно, не появилось никаких новых методов, которые можно было бы счесть принципиальным прорывом. Не удалось добиться и большего соответствия методов изучаемой проблеме. Общество в моделях представляют и описывают так же, как и раньше. И уж точно нет никаких изменений к лучшему в документировании. Так что есть все основания считать, что приведенные примеры, ссылки и заключения отражают текущее положение дел. Добавление новых примеров ничего бы не подтвердило, не опровергло и не сделало бы книгу лучше.

Тем не менее со времен 1970-х гг. произошло несколько существенных изменений, которые нельзя было предусмотреть или предсказать. Первое состоит в том, что моделирование социальных систем, судя по всему, стало менее заметной деятельностью. Работы продолжаются, но медленнее, чем раньше, без громкого оглашения результатов, с существенно более скромными целями и ожиданиями. Сейчас уже мало кто всерьез опасается, что разработчики компьютерных моделей всё просчитают и захватят власть над миром. Замедление частично можно списать на общие застойные явления в мировой экономике и на то, что в некоторых западных странах правительства занимают четкую антианалитическую позицию. Однако я бы отнесла упадок компьютерного моделирования в основном на счет разочарования, которое постигло и разработчиков, и заказчиков таких исследований. Они осознали, что моделирование не всесильно. Во многом такая утра-

та иллюзий имеет под собой основания, и наша книга это подтверждает. Время громких заявлений и эйфории от всемогущества прошло, пора вернуться с небес на землю и заняться делом профессионально либо не заниматься им вовсе.

Второе изменение произошло в жизни всех людей, его нетрудно заметить — это массовое распространение компьютеров и микрокомпьютеров. Мне кажется, что их широкая доступность окажет благотворное влияние на моделирование социальных систем. Люди будут гораздо лучше разбираться в возможностях вычислительной техники, это позволит избавиться как от необоснованной подозрительности, так и от необоснованной веры в любые рекомендации, выдаваемые компьютером. Моделям будут ставить более четкие и правильно сформулированные задачи; разработчикам уже не удастся прятаться за узкоспециальными терминами и профессиональным жаргоном. Возможно также, что массовое распространение небольших компьютеров даст толчок к созданию простых моделей, и это хорошо. Есть, правда, опасение: во всё меньшие габариты будет укладываться всё большая вычислительная мощность, и чем дешевле это будет обходиться, тем меньше будет ограничений на неоправданную сложность и размер моделей.

Третье изменение мы упоминаем в эпилоге. В то время как обычные пользователи испытывают разочарование в моделировании, сама эта область знаний начинает изменяться и преобразовывать себя. Отношение разработчиков к моделированию стало более умеренным и скромным, в стиле работы больше проявляется человеческое, а не машинное. Стало меньше громких заявлений и больше разумных выводов, меньше пускания «пыли в глаза» и больше обсуждений. Отрасль в целом, конечно, еще очень далека от перехода к иной парадигме, новой системе взглядов (мы призываем к этому в последней главе), но некоторые отдельные специалисты в сообществе разработчиков уже перешли на качественно новый уровень, и такое изменение вполне заметно.

Читатель может заметить определенную разницу в интонациях и акцентах между главами книги, написанными в разное время. Мы сами пережили смену парадигм, подобную той, что описана в главе 16. За годы работы над книгой наши представления качественно изменились. И раз это произошло с нами, значит, и наши коллеги смогут достичь того же. И тогда нас, уже всех вместе, будут ждать новые волнующие открытия в области моделирования. Это обязательно произойдет по мере того, как все больше специалистов смогут взглянуть на мир с новой точки зрения, не ограниченной рамками стереотипов.

Мы должны выразить глубокую признательность большому количеству людей, которые помогали нам в работе над книгой. Прежде всего, это Джеральд Барни — именно он предложил идею книги, обес-

печил начальное финансирование и подгонял нас с почти такой же настойчивостью, как Хью Майзер. Разработчики моделей, описанных в книге, проявили большое терпение, предоставляя нам документацию, отвечая на вопросы (не всегда приятные) и дожидаясь, когда книга, наконец, увидит свет. Очень полезными были рецензии и замечания, поступившие от Джея Форрестера, Джона Ричардсона, Эдварда Куэйда и Нино Махони. Мы должны поблагодарить Денниса Медоуза за внимательное изучение книги и критические замечания, а также за то, что он позволил кипам наших материалов на протяжении многих лет занимать часть его дома. Многие из тех, кого мы перечислили, заметят, что мы не всегда следовали их рекомендациям. Но мы хотим уверить, что все советы были с благодарностью услышаны и как следует обдуманы. В результате мы сказали именно то, что должны были сказать.

Донелла Х. Медоуз
Плейнфилд, Нью-Гемпшир
29 декабря 1983 г.

Часть I

Введение

Разумеется, вы можете поинтересоваться, как мы собираемся разрешать безвыходные ситуации, в которые нас загоняют политики, противопоставляющие себя всему миру, и идеологические догмы. Мы оказываемся в тупике все чаще, и с каждым разом положение становится опаснее. Я скажу вам: ответы найдет компьютер. Человек полагается на него всё больше; возьмите для примера хотя бы успешные приземления воздушных судов ночью и в густом тумане. Пассажиры давно не испытывают беспокойства при посадке, полагаясь на технику.

Ни один политик или политическая система не может позволить себе пойти на поводу у оппонента или последовать совету противника, но все они могут и с удовольствием будут пользоваться рекомендациями компьютеров, потому что это и есть та самая система управления полетом, которая позволит человечеству приземляться безопасно.

Р. Бакминстер Фуллер

Я не в состоянии этого понять. Я даже не могу понять, что говорят люди, которые разбираются в этом.

Юлиана, королева Нидерландов, на презентации электронного компьютера в Амстердаме

Одна из проблем, постоянно преследующих человечество, состоит в том, что действия, которые приходится предпринимать каждому из нас, требуют знаний о будущем. Командующий принимает решение, начинать ли атаку; фермер выбирает, какие сеять культуры; студент записывается на факультативные курсы и выбирает направление работы, а государства накапливают запасы зерна или вооружений. Выбор приходится делать в условиях незнания и неуверенности в том, каким будет будущее и как на нем отразятся принятые реше-

ния. Что бы ни думал о будущем каждый из нас, такие предположения могут основываться только на результатах наблюдения и жизненном опыте, полученном в прошлом. При этом абсолютными знаниями о прошлом не обладает никто. Человеческое представление об исторических событиях, даже тех, которым мы были свидетелями лично, довольно смутно, оно может быть искажено под влиянием неосознанных предубеждений и предрассудков или в результате неверного восприятия. И вот проблема: чтобы принимать верные решения, нужно предвидеть будущее, а люди не имеют полной уверенности даже в настоящем и прошлом.

Чтобы выйти из затруднительного положения и перебросить мостик от туманного прошлого к желаемому будущему, лица, облеченные властью, уже столетия назад использовали разные хитроумные способы. В античной Греции дельфийские пифии дышали сернистыми парами, погружались в транс и изрекали пророчества о будущем. Во многих странах на протяжении долгих веков при дворе служили предсказатели, астрологи, от Мерлина до Распутина. В Средние века в арсенале прорицателей были предсказание по Библии, гадание на внутренностях жертвенных животных, предсказания по случайным точкам на бумаге, по каплям расплавленного воска, упавшим в воду... История полна легенд, в них постоянно упоминаются знамения и предвестники событий, хрустальные шары, кассандры, пророки...

Все магические таинства основаны на двух источниках информации. Первый — случайность. Это могут быть случайные результаты каких-либо сложных процессов, например расположение игральных костей после броска или чаинок на дне чашки. В давние времена говорили, что всё случается по воле богов, а сейчас говорят, что всё управляется законами природы, и наука их изучает. Но все методы предсказания, основанные на случайности, зависят также и от второго информационного фактора — того, как человек интерпретирует полученную информацию. Трактует ли человек фигуру, сложенную чаинками, расшифровывает ли тайное послание звезд или в трансе изрекает пророчество, в основе любых заявлений о будущем все равно всегда были и будут мысленные представления, иносказания, знакомые образы и уловленное сходство с ними.

Книга, которую вы держите в руках, рассказывает о *моделях* — под этим словом мы понимаем любой набор предположений или общих представлений о мире. Модели — наши инструменты, единственные из изобретенных человеком, которые позволяют установить связь между знаками и предсказанием, между прошлым и будущим. Самые распространенные модели — у людей в головах, и мы будем называть их *мысленными моделями*. Они туманны и не имеют четких очертаний, это невысказанные наблюдения, представления, догадки, обобщения, из которых складывается личное ви́дение мира. Человеческий

мозг может хранить огромное количество и разнообразие наблюдений и делать из них чрезвычайно сложные заключения и обобщения. Мысленные модели не имеют точного численного выражения, но содержат неимоверное изобилие данных, большая часть из которых получена на личном опыте. Подавляющее большинство решений, которые мы принимаем, основаны на личных, невысказанных, не сформулированных в явном виде и подверженных изменению мысленных моделях. Большинству людей такие решения позволяют вести вполне осмысленную деятельность в самых разных ситуациях в нашем сложном, меняющемся мире[1].

Лица, принимающие решения, — будь то главы семейств, руководители фирм или лидеры государств — должны принимать решения столь сложные и имеющие настолько далеко идущие последствия, что интуиции и опыта любого отдельно взятого человека для этого недостаточно. Поэтому обычно к делу привлекают экспертов, проводят опросы общественного мнения, обращаются к профессиональной литературе по теме, собирают группы исследователей, выносят вопросы на голосование и прибегают к любым другим доступным формам предсказания, прорицания и пророчества. Все это подразумевает, что те или иные варианты (модели) могут быть оценены и либо из них выбирается одно «лучшее» решение, либо из нескольких предположений и заключений формируется сводная модель, которая, как считается, должна быть лучше, чем то, что в состоянии предложить отдельный человек: точнее, правильнее и полнее.

Выработка таких коллективных решений требует обмена мысленными моделями. Но их невозможно передать напрямую «из мозга в мозг». Передачу можно осуществить, лишь облекая их в символы — как правило, в слова, высказанные устно или записанные. Выразить мысленную модель в символах — задача невероятно сложная. Обычно люди даже о собственных моделях и интуитивных догадках имеют весьма смутное представление, к тому же со временем они могут меняться. Они не линейны, не последовательны и не укладываются в формат, характерный для языковых средств общения. К тому же слова зачастую имеют несколько значений и толкований, равно как и образы, мысли и ощущения, которые ими описываются. Из-за таких сложностей словесная форма выражения чаще всего превращается в описание того, *что*, по мнению говорящего, следует предпринять, в то время как описывать надо было частично осознанные, а большей частью неосознанные побуждения, объясняющие, *почему* говорящий предлагает поступить именно так.

Даже сейчас, когда наука и технология сделали качественный скачок, в социальной сфере решения принимаются на основе невысказанных или нечетко сформулированных мысленных моделей. Предположения и соображения, лежащие в основе принятого решения,

нельзя подвергнуть полному разбору — этого не может сделать даже тот, кто принял решение. Логика принимаемых социальных мер (если она вообще есть) в большинстве случаев скрыта от тех, кого эти меры затрагивают. В том, что касается обычных людей и даже большинства лиц, принимающих решения, со времен Дельфийского оракула практически ничего не изменилось: жизненно важные решения и сегодня малопонятны и труднообъяснимы.

Ссылки на источники

[1] С обсуждением (в том числе детальным) различных мысленных моделей, особенностей их формирования, сильных и слабых сторон можно ознакомиться в работах:

- *Ornstein R.E.* The **Psychology of Consciousness. San Francisco: W.H. Free**man, 1972;
- *Forrester J.W.* Counterintuitive Behavior of Social Systems // Technology Review. 1971. 73 (3).

1
ГЛАВА

Электронный оракул

1.1. Компьютерные модели: новые оракулы

Мысленные модели можно лишь частично, приближенно выразить в словах, и точно так же их можно лишь частично, приближенно выразить в математических символах. Математические выражения сами по себе недвусмысленны и гораздо более точны, чем словесное описание, но при этом их язык гораздо беднее. До XX века модели, записанные в виде математических уравнений, не использовались практически нигде, кроме физики, где все отношения были просты и достаточно однозначны для того, чтобы непосредственно преобразовать их в численную зависимость. Но в последние десятилетия появился новый инструмент для обработки символов — компьютер, который может хранить математические символы всех типов, обрабатывать их в таких количествах и с такой скоростью, какую раньше нельзя было даже вообразить. Компьютерные модели — не что иное, как математические модели, переведенные на специальный (как правило, цифровой) язык, понятный компьютеру. Компьютерные модели социальных явлений, как и модели физических явлений, множатся в числе, сложности и размерах, и так происходит благодаря тому, что вычислительная техника становится дешевле, доступнее и распространяется повсеместно.

В исследовании, проведенном в 1974 г., отмечалось, что в США только для федеральных агентств, не связанных с оборонным комплексом, было создано 650 математических моделей[1]. Практически все они были настолько сложными, что просчитать их можно было только на компьютерной технике. Компьютерные модели используют для того, чтобы решить, сколько загрязнений можно сливать в реку новому заводу, следует ли запретить аэрозольные баллончики и какой должна быть цена на природный газ. Заключения, сделанные компьютером, даже стали использовать как свидетельства в суде. Компьютерные программы формируют списки заказов и следят за наполняемо-

стью складов, сравнивают привлекательность инвестиционных схем и информируют бизнес-сообщество о том, какой ожидается уровень экономического роста. Модели рассчитывают для органов власти бюджет, сводят баланс, оценивают будущие налоговые поступления, формируют цены на сельскохозяйственную продукцию. В странах с плановой экономикой они подробно прописывают планы производства на ближайшие пять лет. Дельфийский оракул канул в лету, но потребности в предсказании будущего только растут. И теперь у нас есть новый, высокотехнологичный способ удовлетворить эти потребности.

Сторонники использования компьютеров как инструмента для прогнозов заявляют, что математические модели позволяют добиться большей эффективности, полезности и справедливости решений, принимаемых в социальной сфере. Они подчеркивают, что компьютерные модели обладают потенциальными преимуществами даже над лучшими мысленными моделями.

1. *Строгость*. Предположения, заложенные в компьютерную модель, должны быть выражены в явном виде, со всей полнотой и точностью. Никакие двусмысленности и неточности не допускаются. Каждая переменная должна быть правильно определена, а все предположения согласованы друг с другом и внутренне непротиворечивы. Создатели компьютерных моделей любят говорить, что внутренняя дисциплина, которая вырабатывается при формулировании математической модели, очень помогает упорядочивать и прояснять их собственные мысленные модели, еще до того, как проводится какой-либо анализ с помощью вычислительных средств.
2. *Полнота*. Компьютер может обработать гораздо больше информации, чем человеческий мозг, и может учесть на порядки больше взаимосвязей и зависимостей между параметрами. Он может свести наблюдения из разных мысленных моделей в единую картину, более сложную, чем мог бы вообразить любой человек.
3. *Логика*. Если программа составлена правильно, компьютер может обработать даже самый сложный набор предположений и сделать логичные, не содержащие ошибок выводы. Человеческому разуму свойственно делать ошибки в логике, особенно если цепочка логических построений достаточно сложна. Многие люди могут полностью согласиться с начальным набором положений, но при этом возражать против выводов, которые из них следуют. Компьютерная модель из одного и того же набора исходных данных всегда сделает одинаковые выводы.
4. *Понятность*. Поскольку все исходные положения даны в явном виде, выражены точно и недвусмысленно (именно такой формы требует компьютер), всегда можно провести проверку,

оценку правильности, доработку и изменение компьютерной модели. В то же время мысленные модели практически не поддаются оценке и проверке правильности.

5. *Гибкость и тестируемость*. Компьютерную модель можно с легкостью запустить для разных наборов данных, условий и стратегий, проводя своего рода социальный эксперимент, который пройдет быстро и будет стоить не в пример дешевле, чем эксперименты на реальных социальных системах.

Учитывая эти преимущества, стоило бы ожидать широкого использования компьютеров абсолютно во всех сферах жизни общества. Но на практике компьютерные модели позволили улучшить и усовершенствовать принятие социальных решений лишь в отдельных областях. Вычислительные методы стали применять для краткосрочных прогнозов, для принятия легко просчитываемых текущих решений — например, для выбора маршрута грузовиков, развозящих почту, для оптимального расположения коек в новой больнице, для расчета базисных ставок по кредитам. Когда же дело доходит до полномасштабных, долговременных социально значимых решений, где мысленные модели представляют собой по-настоящему слабое место, где компьютерные модели могут оказать неоценимую помощь (энергетическая политика, международная торговля, создание новых институтов и ведомств...), к моделированию почему-то начинают относиться с подозрением. В разработку моделей вложены миллионы долларов и тысячи человеко-часов труда, но если говорить об оценке их влияния на принятие решений в социальной сфере, то они обеспечивают крайне малую отдачу инвестиций. Уловить влияние моделирования на реальную жизнь порой очень трудно. Большие и сложные компьютерные модели разрабатывают больше, чем используют, и гораздо чаще критикуют, чем хвалят[2].

Профессиональные разработчики моделей обеспокоены тем, что в их сфере деятельности фиксируется быстрый рост, но при этом внедрение результатов происходит очень медленно. Проводятся разные опросы и исследования, которые оценивают положение дел, пытаются объяснить методы компьютерного моделирования и сделать их понятнее для обычных людей, особенно для тех, кто принимает решения[3]. Для этого организуют и проводят конференции и курсы обучения, на которых разработчиков и политиков собирают вместе, чтобы они могли «преодолеть пропасть» между миром аналитического анализа и миром, где нужны конкретные действия.

Вот только преодолеть эту пропасть никак не удается. Снова и снова, в устной и письменной форме разработчики спрашивают: «Почему вы не используете наши модели?». Политики в ответ задают встречный вопрос: «А почему вы не делаете модели, которые мы могли бы использовать?».

1.2. Сравнительный обзор моделей

В этой книге мы пытаемся ответить на вопросы: могут ли принести пользу компьютерные модели сложных социальных систем? Расширяют или усовершенствуют ли они мысленные модели, помогают ли выполнять управленческие функции в сложном мире? Если нет, то почему? Если да, то почему компьютерные модели так редко применяются для принятия важных решений? Наши цели достойны и созидательны — мы сами хотим жить в обществе, где принятие решений основано на максимально точном представлении о прошлом и будущем. Поэтому мы считаем, что следует использовать любой способ, чтобы лучше разобраться в сложных социальных системах, обладающих многочисленными внутренними взаимосвязями.

Когда мы приступили к работе, то поставили себе задачу продемонстрировать следующее:

1. Сложные модели, основанные на самых разных методах, вполне можно обсуждать в рамках общего формата, чтобы даже те, кто не имеет технической подготовки, могли участвовать в их сравнении и оценке.
2. Модели способны порождать новые представления о сложных социально-экономических проблемах современности.
3. Свойственные компьютерным моделям преимущества можно усилить за счет большей ясности и открытости по ходу разработки модели, благодаря постоянному взаимодействию с клиентами и публичному представлению результатов. Это позволит политикам выбирать более обоснованные решения из общего разнообразия вариантов.

Читая книгу, вы убедитесь, что задача усложнялась по мере того, как мы углублялись в работу. Мы обнаружили, что некоторые компьютерные модели настолько не соотносились ни с мысленными моделями, ни с реальными процессами, что пришлось отказаться даже обсуждать их. Другие модели чрезвычайно сложны, но не выдают никаких новых результатов, а лишь декларируют первичные предположения, заложенные в них создателями. Третьи дают результаты, настолько противоречащие господствующей точке зрения, что их отметают сходу, хотя на самом деле в них может быть рациональное зерно. И в целом в практике компьютерного моделирования необходимы серьезные (не поверхностные!) изменения, в первую очередь личностного (не технического!) характера. Но прежде чем обсудить эти выводы, нужно рассказать, как мы к ним пришли.

Для начала мы выбрали несколько готовых серьезных компьютерных моделей, которые разрабатывались как подспорье для соци-

альной политики. История создания и использования этих моделей весьма поучительна и сама по себе позволяет сделать важные выводы о проблемах и потенциальных возможностях моделирования в принятии социальных решений. Все модели затрагивали примерно одинаковый набор распространенных проблем, имеющих далеко идущие последствия: рост численности населения, производство сельскохозяйственной продукции, развитие экономики — фактически все то, что должно учитываться при разработке национальной политики. Мы выбрали исследования и в промышленно развитых странах, и в странах с сельскохозяйственной экономикой, чтобы оценить схожие черты и различия в моделях, относящихся к разным этапам индустриализации. Модели создавались разными группами специалистов и финансировались из разных источников, в них использовались разные методы и подходы. Все данные по отобранным моделям, их создателям и спонсорам сведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Модели, включенные в обзор

№	Название модели (фамилии основных разработчиков) / организация	Источник финансирования	Заказчик	Страна, где применялись результаты
1	SAHEL (Пикарди) / Массачусетский технологический институт	Агентство США по международному развитию, Африканское подразделение	Агентство США по международному развитию и национальные правительства африканского региона Сахель	Страны Сахельского региона
2	Нет названия (Ридкер) / Некоммерческая организация Resources for Future (RfF)	Комиссия по росту численности населения и будущему Америки	Правительство США	США
3	SOS (Хаус, Уильямс) / Агентство по защите окружающей среды, США	Агентство по защите окружающей среды, США, и собственные ресурсы разработчиков	Национальное правительство и региональные органы власти	США и регионы
4	TEMPO II (Энке) / Аналитический центр General Electric Tempo	Агентство США по международному развитию, отдел населения	Национальные правительства	Перу, Венесуэла, Чили и многие другие

Окончание табл. 1.1

№	Название модели (фамилии основных разработчиков) / организация	Источник финансирования	Заказчик	Страна, где применялись результаты
5	LTSM (Мартос, Лин) / Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (FAO)	Фонд ООН в области народонаселения	Национальные правительства	Египет, Пакистан, развивающиеся страны с избытком рабочей силы
6	BACHUE (Роджерс, Вери, Хопкинс) / Международная организация труда ООН (ILO)	Фонд ООН в области народонаселения	Национальные правительства	Филиппины, Бразилия, Кения и др.
7	KASM (Джонсон, Росмиллер, Эбкин, Кэролл, де Хеен) / Университет штата Мичиган	Агентство США по международному развитию, подразделение технического обеспечения	Корейское министерство сельского хозяйства и рыболовства	Южная Корея
8	MEXICO V (Бельтран дель Рио) / Консалтинговая организация Wharton Economic **Forecasting Associ**ates (WEFA)	Частные деловые круги Мексики	Мексиканские представители частного бизнеса и правительство	Мексика
9	CHAC (Дюлой, Нортон) / Всемирный банк	Всемирный банк, Банк Мексики, правительство Мексики	Всемирный банк, правительство Мексики	Мексика

Мы выбирали примеры, исходя из определенных критериев.

1. Каждая модель должна быть хорошо проработана и иметь документацию, по которой можно проанализировать с технической точки зрения все предположения, заложенные в модель, и полученные выводы. (Уже один этот критерий привел к тому, что многие модели в наш обзор не попали.)
2. Чтобы проиллюстрировать разнообразие аналитических возможностей, мы выбирали разнообразные технические подходы и рассматривали модели, примененные в разных странах.
3. Модели должны описывать стратегические вопросы в области развития, народонаселения и производства продовольствия

на уровне отдельной страны (т. е. не на локальном и не на глобальном уровнях), чтобы проблемы и предлагаемые разными моделями решения можно было сравнивать между собой.

4. Выбор делался из современных, качественно выполненных моделей, о которых имелись положительные отзывы профессионалов. Выбранные модели рекомендовали нам как весьма интересные либо очень полезные в использовании их спонсоры и/или другие разработчики, работающие в нашей сфере.
5. Модели должны были разрабатываться по запросу либо в сотрудничестве с представителями властей и государственных органов управления. Нас интересовали конкретные стратегические наработки, а не гипотетические исследования.

Мы начали отбор и постепенно исключили все модели, кроме девяти. Каждая из них соответствовала почти всем приведенным выше критериям.

Для каждой модели мы собрали все доступные документы, и почти во всех случаях нам удалось лично связаться с их создателями и спонсорами, что позволило прояснить неточности и устранить детали, которые выглядели недостаточно проработанными. По каждой модели был подготовлен текстовый отчет и несколько схем, на которых были отражены границы системы и предположения, лежащие в ее основе. Чтобы исключить возможное недопонимание и неточности, все отчеты мы затем отдали на просмотр разработчикам моделей и/или спонсорам для проверки.

Хотя мы и сами занимаемся созданием моделей, нас нельзя считать экспертами по всем техническим методам, использованным в отобранных примерах. К тому же в начале работы у нас было лишь поверхностное представление обо всех моделях, детально в них мы еще не разобрались, а попытались оценить с точки зрения обычных технически образованных людей, имеющих гражданскую позицию, и потенциальных управленцев — тех, у кого нет профессиональных знаний в каком-либо виде моделирования, но есть желание понять, как модели могут оценить индустриализацию и ее последствия в национальном масштабе. Мы задавали вопросы, которые задал бы на нашем месте любой — о содержании, полезности модели, о том, как она соотносится с реальным миром, а не о том, насколько изящны математические выкладки или программистские решения.

По ходу работы стало понятно, что в итоговом выводе по моделям, помимо доступности данных и использованных теорий, нужно учитывать два принципиально важных фактора. Первый — это лежащие в основе модели и, как правило, не выраженные явным образом методологические положения каждой школы моделирования. Второй — организационные аспекты, относящиеся к модели: взаимосвя-

зи, формы обмена информацией, сроки, давление со стороны, мотивы и другие факторы, так или иначе влияющие на разработчиков моделей и тех, кто принимает решения. Методологические положения и организационные вопросы крайне редко фигурируют в документации на модель, но мы сочли их столь важными, что постарались выяснить, что называется, всю подноготную. Только тогда стало понятно, как модели появились на свет и почему приобрели тот, а не иной вид. Поэтому довольно большая часть нашей книги посвящена методам моделирования и организационным вопросам, которые сопровождают этот процесс.

1.3. Краткое содержание книги

Каждая школа моделирования основана на определенных представлениях о том, каков окружающий нас мир, какой должна быть модель, что делает ее достоверной, какие вопросы следует ставить. Чтобы разобраться в том, что представляет из себя сфера моделирования в целом, и рассортировать заявления и возражения сторонников разных школ, нужно хотя бы в общих чертах представлять себе, какие предположения лежат в основе мировоззрения у разных разработчиков. В части II книги сведены вместе основополагающие представления и предпочтения, характерные для разных методов моделирования, изученных в нашем исследовании.

В части III приводится описание каждой из девяти выбранных нами моделей. Там же мы обсуждаем сопутствующие организационные вопросы, результаты практического использования модели (если оно состоялось) и, разумеется, исходные предположения и итоговые выводы. Эта часть книги может представлять сложность для неподготовленного читателя, которому не интересно копаться в сухих технических подробностях внутреннего строения моделей, но в этом случае ее можно смело пропустить. Общее представление о сути всех девяти моделей вполне можно получить из частей IV и V, причем именно их нужно считать основными разделами книги.

В части IV мы обращаемся к вопросу оценки. Что можно сказать о современном развитии моделирования по девяти изученным моделям? Полезны ли они с научной точки зрения? Способны ли рассказать что-то новое о мире, в особенности о процессах развития? Мы рассмотрим, что дают модели для понимания индустриализации и сопутствующих ей процессов роста численности населения, увеличения потребления природных ресурсов, изменений в технологиях. Изучим, чем подтверждаются преимущества методов компьютерного моделирования и в чем они бессильны. Зададим вопросы о практическом применении моделей: используются ли компьютерные модели и уда-

лось ли им хоть в чем-то изменить мир к лучшему? Мы рассмотрим историю применения некоторых моделей, из которой станет понятно, что процесс моделирования действительно оказывает влияние на мир, но не всегда такое, как было задумано.

Наконец, в части V мы перейдем от оценок к рекомендациям. Нам удалось собрать у разработчиков моделей целый список предложений по их улучшению, и к нему мы добавляем еще более внушительный список своих рекомендаций, которые позволят сделать использование моделей более распространенным, а сами модели полезными и понятными не только специалистам, но и самой широкой аудитории.

1.4. Некоторые термины и определения

Некоторые широко распространенные и всем знакомые слова в мире политиков и разработчиков моделей приобрели несколько иной смысл, и порой это может приводить к непониманию даже между самими разработчиками, если они относятся к разным школам. Поскольку в нашей книге такие термины используются не единожды, нужно привести их определения и условиться о том, как мы будем их использовать.

Моделью мы называем любой набор обобщенных представлений о мире. *Мысленной моделью* следует называть набор собственных представлений, имеющихся у каждого человека. *Формальная модель* зафиксирована в письменном виде — это либо словесное описание, либо, как в нашей книге, набор математических уравнений, положенных на язык программирования.

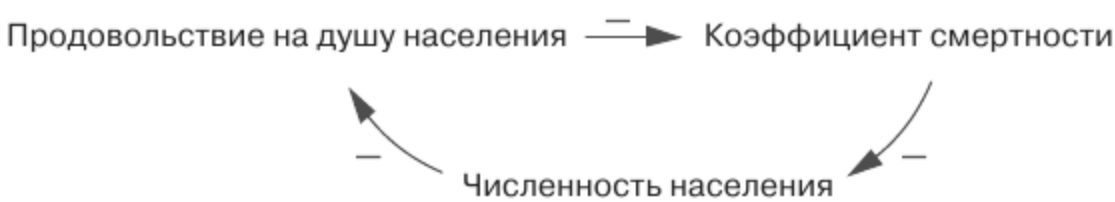
Система — любой набор взаимосвязанных элементов. Системы строятся из двух составляющих: *элементов* (как правило, вещественных или измеряемых понятий или потоков) и *связей* (заявленных зависимостей, связывающих элементы между собой). Простейшая модель может состоять из двух элементов, например продовольствия на душу населения и коэффициента смертности, и заявленной связи между ними, описывающей, как меняется элемент «коэффициент смертности» в зависимости от величины элемента «продовольствие на душу населения».

Связь может быть *причинно-следственной*, если в обязательном порядке имеет место хронологическая последовательность и описан механизм, за счет которого один элемент системы непосредственно влияет на другой. Так, продовольствие на душу населения влияет на коэффициент смертности: нам известно, что недоедание пагубно сказывается на здоровье. Это пример причинно-следственной связи. Мы будем изображать такие связи односторонними стрелками, ведущими от элемента-причины к элементу, на который оказывается воздействие. Знак «+» около стрелки показывает, что изменение первого

элемента вызывает изменение второго в том же направлении — увеличение одного ведет к увеличению другого, уменьшение — к уменьшению. Знак «–» означает, что изменения разнонаправлены. Например, если душевое потребление продовольствия растет, то смертность снижается, а если количество продовольствия уменьшается, то смертность становится выше.



Причинно-следственные связи между двумя элементами могут быть направлены и в обе стороны. Например, более высокий коэффициент смертности вызывает уменьшение численности населения, что, при прочих равных условиях, приведет к увеличению продовольствия, приходящегося на тех, кто остался в живых. (Кстати, каждый раз, когда в книге обсуждается характер отдельной связи, имеется в виду, что производится сравнение при прочих равных условиях.)



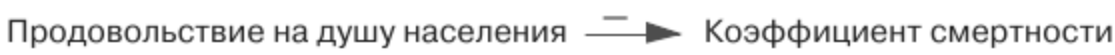
Замкнутая цепочка причинно-следственных связей называется *петлей*, или *циклом*, *обратной связи*.

В книге мы будем называть связь корреляционной, если непосредственная причинно-следственная зависимость не предполагается, но при этом изменяются оба элемента. Например, корреляционная связь может присутствовать между душевым потреблением продовольствия и услугами здравоохранения на душу населения. Ни один из этих элементов не оказывает прямого влияния на другой, они не связаны между собой причинно, однако в зависимости от целей моделирования может быть задано их одновременное изменение. Корреляционные связи мы будем показывать двусторонней стрелкой. Знак над стрелкой характеризует корреляцию между элементами как прямую («+») или обратную («–»). В примере, приведенном ниже, предполагается, что увеличение количества продовольствия на душу будет сопровождаться (хотя и не обязательно им вызвано) увеличением душевого объема услуг здравоохранения.



Необходимо четко различать понятия *структуры* модели и ее *параметров*. Структура — внешний вид элементов и взаимосвязей, строение системы, качественное представление о том, что с чем связано. Параметры — численные величины, характеризующие силу и значи-

мость связей. Так, в уже приводившейся в качестве примера простой причинной модели



структура предполагает, что изменение количества продовольствия на душу приводит к обратному изменению коэффициента смертности. И если выразить эту зависимость в виде уравнения

$$\text{Коэффициент смертности} = 0{,}08 - 0{,}001 \cdot (\text{Продовольствие на душу населения})$$

то значения 0,08 и 0,001 будут параметрами, характеризующими взаимосвязь, выраженную структурно.

Есть еще ряд терминов, относящихся к моделированию, которые мы будем использовать часто, поэтому важно понимать их правильно.

Достоверность, адекватность, правдоподобность модели — правильность, соответствие модели реальному миру, отсутствие ошибок. При этом совсем не обязательно речь идет о точности вычислений или количестве значащих цифр. В обычной жизни, например, число «2» вполне адекватно (не точно, а именно адекватно) отображает величину 2,00563.

Точность — точность вычислений, расчетов, количество значащих цифр. Значение 2,97351 имеет много значащих цифр, это точная величина, которая при этом не адекватна реальному значению 2,00563.

Внешний, вызываемый внешними причинами фактор — лежащий за пределами системы, определяемый независимо и поступающий на вход в модель «как есть». Внешний фактор влияет на модель, но не наоборот. Например, солнечная энергия — внешний фактор по отношению к земным экосистемам.

Внутренний, вызываемый внутренними причинами фактор — определяемый самой системой, поступающий на выход из нее. Внутренние факторы рассчитываются через другие элементы в модели системы. Например, годовой выпуск промышленной продукции в большинстве моделей, описанных в нашей книге, относится к внутренним факторам. Он зависит от других показателей: капитала, рабочей силы, потребительского спроса.

Помимо терминов, которые используются для описания моделей, элементов и связей, нам потребуются некоторые определения для описания среды, в которой создавались модели. *Спонсоры* и *источники финансирования* — организации или частные лица, благодаря которым оплачивалась разработка модели. *Клиент*, *заказчик* — организации или частные лица, в чьи функции входит принятие решений; именно они будут использовать результаты моделирования для разработки реальных стратегий и программ. Для некоторых из описанных в книге девяти моделей разработчик, спонсор и заказчик совпадают, для других они представляют собой разные организации и лица.

Практическим применением будем называть любое использование модели, прямое или косвенное, которое привело к какому-либо изменению в текущей политике или принятии решений.

1.5. Личная позиция

Наша книга описывает довольно сложные и противоречивые отношения между двумя сложными и противоречивыми сферами: компьютерным моделированием и политикой. При этом просто не существует нейтральной позиции, с которой можно было бы беспристрастно оценивать происходящее. Даже когда речь идет о практических методах моделирования и научных дисциплинах — казалось бы, что может быть объективнее! — все равно выясняется, что их сторонники имеют те или иные субъективные предпочтения, предубеждения и собственное представление о том, как должны вестись научные изыскания и как надо заниматься политикой. У всех, кто пишет на эту тему, есть свои пристрастия, и авторы этой книги не исключение. Но мы открыто заявляем о них и постараемся четко их описать.

Мы из США, воспитаны в западных традициях демократии, индивидуализма и рационалистического научного подхода. Обе мы женщины, белые, нас можно отнести к среднему классу. Обе получили естественнонаучное образование, со специализацией в биологии и химии. Единственный вид компьютерного моделирования, который мы профессионально применяли сами, — системная динамика, и в следующей главе мы опишем, какой отпечаток это на нас наложило, причем подойдем к этому вопросу со всем вниманием и тщательностью. Это влияние обязательно войдет в список важных предубеждений, о которых, собственно, и написана книга. Нам доводилось работать со специалистами по другим видам моделирования, иногда в рамках совместных проектов. Некоторые из наших лучших друзей — эконометристы.

Непосредственного опыта политической деятельности у нас нет, есть лишь косвенная информация, полученная при совместной работе с лицами, принимающими решения, над разработкой наших собственных моделей. Свои политические предпочтения мы могли бы отнести к традиционно-консервативно-либеральным, причем одним взглядам симпатизируем, другим — нет. Нам обеим доводилось жить в странах Азии, и обе вынесли из этого глубокое уважение к живущим там людям, их культуре и философии. И мы обе имеем личный опыт сельскохозяйственных работ, опыт самый что ни на есть прямой, вплоть до перелопачивания навоза.

Одна из нас участвовала в работе над «Пределами роста»[4], докладом Римскому клубу, другая была вовлечена в исследование *Global 2000*[5],

использовавшее методы моделирования, и обеих из-за этого обвиняли в пессимистичном взгляде на жизнь, в приверженности мальтузианской точке зрения. На самом деле мы вовсе не пессимистичны — скорее, нас можно назвать идеалистками. Мы считаем, что оба исследования выявили наличие мысленных моделей, в первую очередь моделей возможного развития и целей материального прогресса, и описали их не для того, чтобы отрицать, а чтобы показать, что с их учетом работу можно сделать лучше.

Как создатели моделей мы, разумеется, выступаем за моделирование. Но написать эту книгу нас побудило тревожное осознание того, что профессиональная область моделирования стала приобретать черты, которые не позволяют ей оказывать действенную помощь в принятии социальных решений. Эти черты, всё, что нам нравится и не нравится, будут описаны в наших комментариях по всему тексту книги. Мы ценим простоту, стремимся к прозрачности и достижению общего понимания и отказываемся принимать намеренно избыточную сложность, запутанные термины, надуманную загадочность и высокомерие.

Мы внимательно относимся к критике, касающейся нашей профессиональной области. Нас серьезно беспокоит, что сверхсложные компьютерные модели могут быть меньше открыты для критической оценки, чем мысленные модели. Компьютер, этот замечательный инструмент для безошибочных расчетов, будет совершенно бесполезен, если допустить логическую ошибку в программном коде или просто сделать опечатку. Компьютерщики и программисты создают вокруг себя атмосферу таинственности и избранности — «вход только для посвященных». Если эти упреки справедливы, то лица, принимающие решения в социальной сфере, будут иметь основания считать все модели (мысленные, выраженные словесно, компьютерные) «черными ящиками», в которых в принципе невозможно разобраться. И тогда значение моделей будет определяться только силой убеждения, которой обладают их авторы и создатели. В этом случае нет никакого смысла доверять компьютерным моделям больше, чем мысленным. Разве только из желания окунуться в таинственный мир компьютерщиков... И если компьютерные модели будут принимать только благодаря красноречию их авторов, а не потому, что удалось разобраться в сути каждой из них, то у моделирования нет никаких преимуществ в сравнении с Дельфийским оракулом или гаданием на хрустальном шаре.

Принятие политиками моделей-«черных ящиков», если бы такое действительно произошло, стало бы своеобразным технократическим «государственным переворотом», в результате которого разработчики моделей захватили бы власть и смогли навязывать представления, предположения и заключения тем, кто должен принимать решения, — фактически принимая решения за них, причем незаметно.

> Раньше мне казалось, что в секретном правительстве было две группы: круг ученых, которые понимают, что происходит и какие решения нужно принимать, и более многочисленный круг управленцев и политиков, которым открытия ученых нужно «переводить» на понятный им язык. Меня беспокоит, что появление компьютеров приведет к появлению третьего, совсем ограниченного круга... В итоге мы получим тесный кружок одаренных компьютерных мальчиков, группу ученых, незнакомых с правилами принятия решений и неискушенных в обращении с компьютером, и наконец, толпу политиков и управленцев... Подозреваю, что парень, сидящий за компьютером, разбирающийся в том, как он работает, и умеющий давать нужные команды, обретет доселе невиданные могущество и влияние[6].

Мы провели свое исследование и написали книгу для того, чтобы сформулировать и донести до людей два принципиальных утверждения, которые звучат противоречиво. Во-первых, нас беспокоила (и беспокоит сейчас) ситуация с «могущественными и влиятельными компьютерными мальчиками», да и вообще всеми, кто постоянно работает с компьютерными системами. Нам бы не хотелось жить в обществе, управляемом группкой избранных компьютерных экспертов, неподотчетных никому. Не хотелось бы даже в том случае, если бы они действительно хорошо разбирались в обществе, которым стали бы управлять. После того как мы закончили свое исследование, беспокойство даже усилилось, потому что мы убедились в том, что компьютерщики, как и большинство людей, на самом деле понимают очень немного. Больше, чем всевластие знающих компьютерщиков, нас пугает только всевластие компьютерщиков, которые *не ведают, что творят*.

Но в то же время мы верим, что компьютерные модели могут многое нам рассказать о причинах важных социальных проблем и подсказать средства, чтобы избавиться от них. Мы вынесли важные уроки из своих моделей и из тех, что подвергли разбору. Это нельзя назвать абсолютным пониманием, но тем не менее мы многое узнали, причем такую информацию нельзя было бы получить только из мысленных моделей. И мы точно знаем, что можно выяснить еще больше. Всю эту информацию можно донести в понятной форме до любого человека — в этом мы уверены. Компьютерные модели должны стать инструментом демократии, а не автократии; их разработчики должны быть не правящей кастой, а партнерами, которые ценят друг друга, готовы делиться информацией и вдохновлять остальных на проведение социальных преобразований.

Получается, что представления, лежащие в основе этой книги, — своего рода разноименные полюса, две крайности, и мы часто будем переключаться с одной на другую и обратно. С одной стороны, компьютерное моделирование — довольно опасная технология, ее можно использовать во зло, узурпируя власть над людьми, которые будут

думать, что принимают решения сами, хотя на деле ими управляют извне. С другой стороны, моделирование — удивительно полезный инструмент, новый, но уже приносящий замечательные результаты. Его надо признавать и использовать во благо. Наша задача — сохранить равновесие между этими двумя крайностями.

Разработчики моделей тоже люди, у них есть сильные и слабые стороны. Если детально изучить их работу, выявить сильные стороны и исправить ошибки, то моделирование очень поможет в понимании того, как устроен мир, в решении социальных проблем, в создании лучшего будущего.

Ссылки на источники

[1] *Fromm G.*, *Hamilton W.L.*, *Hamilton D.E.* Federally Supported Mathematical Models: Survey and Analysis/RANN Division of Social Systems and Human Resources. Washington: U.S. Government Printing Office, 1974. C. 3.

[2] С критикой компьютерного моделирования можно ознакомиться в работах:

- *Lee D.* Requiem for Large-Scale Models // Journal of the American Institute of Planners. 1973. May;
- *Brewer G.* Politicians, Bureaucrats, and the Consultant. New York: Basic Books, 1973;
- *Hoors I.R.* Systems Analysis in Public Policy. Berkeley: University of California Press, 1972;
- *Berlinski D.* On Systems Analysis. Cambridge, Mass: MIT Press, 1976;
- *Mar B.* Problems Encountered in Multidisciplinary Resources and Environmental Simulation Models Development // Journal of Environmental Management. 1974. № 2. C. 83;
- *Ackoff R.L.* The Future of Operational Research is Past // Journal of the Operational Research Society. 1979. Вып. 30 (2). C. 93—104.

[3] См., например, работы:

- *Cole S.* World Models, their Progress and Applicability // Futures. 1974. Июнь. C. 201;
- *Carter N.* Population, Environment, and Natural Resources: a Critical Review of Recent Models // IBRD Working Paper. 1974. No. 174;
- *Shubik M.*, *Brewer G.* Models, Simulations and Games — a Survey. Rand R-1060-ARPA/RC, 1972;
- Computer Simulation Methods to aid National Growth Policy/Subcommittee on Fisheries and Wildlife Conservation and the Environment. Serial no. 95b, Washington, U.S. Government Printing Office, 1974;
- *Greenberger M.*, *Crenson M.A.*, *Crissey B.L.* Models in the Policy Process. New York: Russell Sage Foundation, 1976;

- *Watt K.F.* Why Won't Anyone Believe Us? // Simulation. 1977. Январь. С. 1.

[4] *Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.L.* The Limits to Growth. New York: Universe Books, 1972. Книга переведена и издана на русском языке: *Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рэндерс Й., Беренс В.* Пределы роста. М.: Изд-во МГУ, 1991. 208 с.

[5] *Barney G.O.* (ред.) The Global 2000 Report to the President. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1982.

[6] Цит. по изданию: *Greenberger M.* (ред.), *Snow C.P.* Management and the Computer of the Future. Cambridge, Mass: MIT Press, 1962. С. 10—11.

Часть II

Основные принципы моделирования

Проходивший мимо сосед увидел, как Насреддин ищет что-то в уличной пыли под фонарным столбом неподалеку от своего дома. «Уважаемый, что ты ищешь?» — спросил сосед. Насреддин ответил: «Да вот, ключи потерял». Оба опустились на колени и продолжили поиски уже вместе. Но сколько они ни искали, ключи всё никак не удавалось найти.

Через некоторое время сосед спросил: «Уважаемый, а ты уверен, что потерял ключи именно здесь, на улице?» «Да нет же! — ответил Насреддин. — Я их в доме потерял». «Но если ты потерял их в доме, — удивился сосед, — почему же мы ищем их тут, под фонарным столбом?» «Так ведь тут света больше», — ответил Насреддин.

Суфийская притча
в пересказе Идрис Шаха

Хотя компьютерное моделирование зародилось всего несколько десятилетий назад, уже существует ряд принципиально разных методов моделирования. В список входят линейное программирование, межотраслевой баланс (метод «затраты-выпуск»), эконометрика, стохастическое имитационное моделирование, системная динамика... Разные школы моделирования имеют ряд общих представлений о свойствах систем, процессе моделирования, использовании компьютера и важной роли моделей для принятия решений. Помимо общих идей, каждая методологическая школа имеет и собственный набор теорий, математических методов, языков программирования и принятых процедур для создания и тестирования моделей. Каждая модель зависит от положений и представлений, лежащих в ее основе. Это означает, что каждый метод моделирования сам по себе основан на модели — представлении о том, как должно выполняться моделирование.

2
ГЛАВА

Модели для процесса моделирования

2.1. Понятие парадигмы

Глубинные, не выраженные явно предположения лежат в основе каждого метода создания моделей, и это оказывает огромное влияние на применение и результаты моделирования. Такие предположения редко озвучивают, их не фиксируют и не оценивают с критической точки зрения. Специалисты, использующие тот или иной метод, усваивают лежащие в его основе положения, даже не отдавая себе в этом отчета, по ходу дела, повторяя за другими или просто в процессе проб и ошибок. И даже задуматься об этом они могут лишь в результате какого-то стечения обстоятельств, наталкивающего на такую мысль. Как правило, базовые предположения, характерные для каждой школы моделирования, относятся скорее к подсознанию, чем к сознательному мышлению, благодаря которому и создаются модели. Например, физики по роду своей работы редко раздумывают над правилами алгебры как таковыми или заново осмысливают суть второго закона термодинамики. Так и эконометристы не задумываются над тем, как используется статистика для оценки достоверности модели, и специалисты по системной динамике постоянно используют принцип обратных связей, не останавливаясь для того, чтобы спросить, применим ли он вообще в данном конкретном случае.

Подобные проверенные временем, постоянно используемые и редко переосмысливаемые представления хорошо укладываются в понятие «парадигма», введенное Томасом С. Куном:

> «Ученые работают в рамках моделей, усвоенных в ходе обучения и последующей работы с литературой, и часто не знают, а то и не хотят знать, какие особенности и характеристики придали этим моделям статус парадигмы в их сообществе... Парадигмы лежат в основе всего — это связующее

звено, более значимое, чем любой набор правил исследования, которые можно из него явным образом вывести... [Парадигмы] — это источники, из которых возникают методы, проблемное поле и стандарты решения, принятые любым зрелым научным сообществом в каждый конкретный момент времени... Принимая парадигму, ученый усваивает вместе с ней теорию, методы и критерии работы, причем обычно они неотделимы друг от друга. Вот почему при смене парадигм обычно происходят серьезные изменения в критериях, определяющих оценку проблем и предлагаемых решений... Смена парадигмы... заставляет ученых иначе смотреть на мир и область исследования. Поскольку для них важнее всего то, что они видят и делают, можно сказать, что после революционного изменения [парадигмы] ученые оказываются в совершенно другой реальности»[1].

Разные парадигмы моделирования приводят к тому, что разработчики, относящиеся к разным школам, определяют проблемы поразному, используют разные процедуры и разные критерии для оценки результата. Парадигмы оказывают глубочайшее воздействие на ви́дение мира, присущее разработчикам, и это неизбежно отражается на содержании и строении моделей. Абрахам Маслоу как-то сказал: «Если твое единственное орудие — молоток, тебе везде мерещатся гвозди»[2].

Любая парадигма приводит к тому, что ви́дение весьма избирательно, и в этом есть как отрицательные, так и положительные стороны. К минусам можно отнести ограниченность мышления, и тогда аргументация в рамках парадигмы становится выхолощенной, каждая школа критикует представления, проблемы и принятые методы других школ «со своей колокольни», с точки зрения, которая искажена собственными представлениями, проблемами и принятыми методами. Плюсами можно считать привносимые парадигмой четкость, строгость и упорядоченность. Исследования, которые ведутся в рамках парадигмы, не только практичны с психологической точки зрения, но еще и чрезвычайно продуктивны.

В тех областях, на которые парадигма направляет внимание группы, научная работа позволяет получить подробную информацию и точное соответствие между наблюдением и теорией, чего нельзя добиться никаким иным способом[3].

Поскольку методологические парадигмы проникают в образ мыслей разработчиков и оказывают влияние на их восприятие, сравнение разных моделей должно начинаться с изучения парадигм, лежащих в основе каждой из них. В этой главе мы сводим вместе и словесно описываем (насколько это вообще возможно) парадигмы четырех главных методов, представленных в нашем исследовании: системной динамики, эконометрики, межотраслевого баланса (метод «затраты-выпуск»)

и оптимизации (линейное программирование). Также мы обсудим составные модели, в которых используются два или более из перечисленных методов. Некоторые другие подходы — например, стохастическое имитационное моделирование — в исследовании не отражены, но не потому, что они не важны, а лишь потому, что они не использовались в тех девяти самых проработанных моделях, что были отобраны для обзора. Завершим мы главу примером конфликта парадигм, сравнивая ви́дение мира, характерное для системной динамики, с представлениями эконометрики, и поясняя, почему эта пара в принципе не может мирно сосуществовать.

Но прежде чем мы проанализируем разные школы моделирования, необходимо сказать несколько слов о разработке моделей как о сфере деятельности, описать общую для всех научную парадигму, различные способы классификации моделей и разные цели, которые перед ними ставятся.

2.2. Распространенные заблуждения, предрассудки и цели моделирования

Разработчики моделей могут до хрипоты спорить о плюсах и минусах их методов и систем, но их объединяют некоторые основополагающие представления и подходы к решению проблем, относящиеся ко всей сфере моделирования. Прежде всего, создатели социальных моделей, как правило, либо выросли в лоне западной культуры, либо учились на Западе. Для них характерен рациональный, научный образ мышления, опирающийся на логику; такой подход ценится и тщательно культивируется. Они верят, что все происходящее не случайно, имеет свой смысл и принципиально поддается познанию. У событий есть причины, которые можно понять и на которые иногда можно воздействовать. Установить причины в большинстве случаев можно с помощью точных измерений, постановки продуманных экспериментов, а также за счет логических выкладок. Источник понимания — наблюдение и размышление, а не интуиция или медитация.

Более того, большинство разработчиков моделей склонны к управленческому мышлению и ви́дению мира. Проблемы не нужно терпеть или пережидать, их можно и нужно решать, активно с ними бороться. Надо не сопровождать социальные изменения, а направлять их, управлять ими. Мир не только познаваем — он еще и поддается управлению. Такой управленческий взгляд на мир характерен не только для тех, кто работает с моделями, но и для большинства инженеров, представителей бизнеса, ученых и политиков. Его не всегда разделяют представители творческих профессий и гуманитарных наук, религиозные деятели и носители традиционных культур Востока.

У китайцев существует традиционное представление о времени, согласно которому будущее находится за спиной, там, где его не видно. Прошлое же находится спереди, его можно рассматривать. Человек соотносится со временем так, словно он сидит на берегу реки лицом по течению вниз и смотрит вслед утекающей воде, утекающему прошлому...

В Америке и других странах Запада общее представление о времени как таковом прямо противоположно китайской традиции. Человек смотрит в будущее, к нему он повернут лицом, и время движется ему навстречу. Прошлое у него за спиной. И он не может быть неподвижным: честолюбивое представление носителя западной культуры о себе подразумевает, что он идет вперед, поднимается вверх, в будущее, благодаря приложенным усилиям, причем путь у каждого свой. Западным представлениям гораздо ближе образ человека, взмывающего вверх в самолете, чем наблюдателя, созерцающего течение реки[4].

Разработчики моделей, разумеется, используют накопленные наблюдения для формирования своих гипотез, но их лица, образно говоря, смотрят вверх, в будущее.

Тех, кто работает с моделями, отличает от других управленцев желание и готовность подвергнуть анализу все организационные системы целиком. Компьютер используется не только как инструмент для расчетов, но и для представления всей сложной сети взаимосвязей между теми, кто принимает решения. Разработчики полагают, что человеческие действия и цели можно разделить на категории, численно оценить и описать с помощью математических уравнений — точно так же, как это делается с физическими процессами, происходящими во Вселенной. Такое представление не всегда обоснованно (как, впрочем, и многие представления, характерные для тех, кто никогда не имел дела с моделями); по сути, это вера в то, что отдельные человеческие существа, равно как и создаваемые ими системы, полностью предсказуемы. Но вот что действительно имеет под собой основание — это вера в то, что в совокупности, «среднестатистически» они предсказуемы. Э. Ф. Шумахер по этому поводу сказал:

«В принципе, всё, что свободно от влияния человеческой воли (например, движение звезд), предсказуемо, а все, что подвержено влиянию человека, — непредсказуемо. Означает ли это, что *все* действия человека непредсказуемы? Нет, потому что большинство людей бóльшую часть времени не используют свою свободную волю и действуют чисто механически. Опыт показывает, что, когда мы имеем дело с большим количеством людей, многие особенности их поведения на самом деле хорошо поддаются предсказанию. При всей их многочисленности, в каждый отдельный момент времени лишь малая толика пользуется своей свободой, и влияние меньшинства на подавляющее большинство зачастую пренебрежимо мало»[5].

Большинство разработчиков компьютерных моделей, столкнувшись с необходимостью изучить сложное явление (например, человеческий организм, экосистему кораллового рифа или промышленную экономику), прибегают к редукционизму и разделяют целое на более простые фрагменты, которые можно изучать по отдельности. Целое рассматривается как набор взаимосвязанных частей, и при этом учитывается, что вся система может демонстрировать свойства, которые невозможно расценивать как простую сумму составляющих ее элементов.

Специалисты-системщики замечают аналогии в поведении систем, состоящих из разных элементов, но имеющих схожие взаимосвязи. Тот же, кто сосредоточен на изучении отдельных элементов, эти аналогии может упустить. Например, вводный учебник по поведению систем отмечает, что одно и то же простое дифференциальное уравнение первого порядка можно использовать для описания самых разных процессов: износа (амортизации) промышленного капитала, распада радиоактивных веществ и даже формирования складских запасов дистрибьютором, который отгружает заказчикам пиво... Остывание кружки с горячим кофе тоже подчиняется тому же закону[6].

Поскольку разработчикам небезразлично, как их модели соотносятся с реальным миром, в объяснениях событий приходится учитывать широкий диапазон элементов, не имеющих прямой взаимозависимости, связанных лишь косвенно. Обычно они не вписываются в рамки традиционных ветвей науки и затрагивают междисциплинарные области. Поскольку специалисты видят в мире огромное количество сложных взаимосвязей, для их отслеживания необходим компьютер — только он в состоянии распутать и просчитать столь сложные построения.

Опираясь на твердое основание рационалистических представлений, на научный метод исследования, возможности вычислительной техники и системный подход, возникли и размножились различные школы моделирования. Их сторонников так и хочется назвать «верующими разных конфессий». Каждая появилась в ответ на какую-то конкретную социальную потребность, каждая создала собственные методы, терминологию и язык, каждая по-своему описывает используемые процедуры и восприятие, характерное для своих приверженцев.

Разные виды моделирования можно классифицировать по ряду признаков, причем некоторые перекликаются между собой, а некоторые несопоставимы в принципе. Например, парадигмы моделирования можно различать по их информационной составляющей. Одни системы заняты трактовкой социальной статистики, другие выросли

из лабораторных экспериментов, третьи зависят от экономической теории или экологических наблюдений. Некоторые школы моделирования используют смешанные источники и черпают информацию отовсюду, включая интуицию, догадки и предчувствия.

Парадигмы моделирования различаются и по применяемым математическим методам. Некоторые выражают свои предположения в виде дифференциальных уравнений, которые затем решаются аналитически, чтобы в итоге вывести уравнение, описывающее поведение моделируемой системы в любой момент времени. Другие решают дифференциальные уравнения численными методами, пошагово приближаясь к имитации поведения реальной системы. Третьи решают системы уравнений, чтобы найти точки равновесия или оптимальные координаты.

Разработчики различают свои модели и по природе зависимостей в них. Например, взаимосвязи могут быть:

- *стохастическими* (элементы связаны вероятностными зависимостями):
  если $A = 2$, то существует вероятность 20%, что $B = 3$, вероятность 60%, что $B = 4$, и вероятность 20%, что $B = 5$;

- *детерминистскими* (элементы связаны между собой строгими зависимостями, выраженными явным образом):
  если $A = 2$, то $B = 4$;

- *непрерывными* (в связях нет разрывов, скачков или провалов, график функции непрерывен):
  $A = 3{,}6 + 8{,}7B$ или $A = B^2$;

- *дискретными* (рассчитываемыми через многократные итерации или заданными в виде отдельных точек/отрезков, график имеет разрывы):
  если $A < 2$, то $B = 10$, если $A \geq 2$, то $B = 100$;

- *линейными* (зависимость отображается прямой линией, изменение A рассчитывается как пропорциональное изменение B плюс константа):
  $A = 2B + 6$;

- *нелинейными* (зависимость отображается самыми разнообразными кривыми, причем обычно под нелинейностью подразумевается одновременно и непрерывность, хотя и необязательно во всем диапазоне):
  $A = B^2$ или $A = 23 + 56e^B - \sin(B^3) + (33\ln B)/B^5$;

- *синхронными, одновременными* (элементы откликаются на изменение так быстро, что для целей моделирования расхождением по времени можно пренебречь):
  $A = 2B$.

- *с задержкой по времени* (элементы откликаются на изменение только через некоторый интервал, который называют запаздыванием):
  A (этого года) = 1,3 + 7,2B (прошлого года) + 0,5B (два года назад) или
  A (этого года) = A (прошлого года) + B (среднее за период с прошлого года по текущий год).

Такие свойства моделей могут на практике давать ограниченное количество непротиворечивых сочетаний. Например, инженерные модели физических систем обычно основаны на данных, полученных в ходе лабораторных экспериментов, решаются аналитическими методами и состоят из линейных, детерминированных, непрерывных зависимостей. Эконометрические модели основаны на статистических данных, как правило, содержат смесь синхронных зависимостей с функциями, имеющими запаздывание, в основном они линейны, и системы таких уравнений решаются численными методами за счет многократных итераций. Комплексные динамические модели с нелинейными уравнениями, имеющими запаздывание, в обязательном порядке решаются через системы дифференциальных уравнений, поскольку их математический вид слишком сложен для того, чтобы их можно было решить аналитически. Источники информации, представления и предположения, лежащие в основе модели, и математические методы все вместе определяют философский подход и принятые процедуры, свойственные той или иной парадигме моделирования.

Обсуждение, которое приводится далее, можно построить вокруг любого из перечисленных выше свойств моделей, однако мы предпочитаем вместо этого опираться на другое свойство, которое редко упоминается при классификации систем: мы будем различать модели в зависимости от того, на какой стадии принятия социального решения их нужно применять.

Когда с социальной проблемой сталкиваются впервые, прежде всего нужно добиться ее *понимания в общем и целом*, ведь поначалу происходит что-то непонятное, не имеющее видимого смысла; старые теории и прежние социальные структуры ставятся под сомнение. Может быть, упущены какие-то важные данные, отсутствуют предполагавшиеся взаимосвязи. Возможно, зависимости, считавшиеся незначительными, вдруг приобрели большой вес. Новое, неожиданное поведение должно получить объяснение. Почему цены на зерно, дер-

жавшиеся десятилетиями, вдруг начали «скакать» то вверх, то вниз? Если концентрация диоксида углерода в атмосфере будет продолжать расти, что будет с климатом? Почему в экономике могут одновременно держаться высокие уровни инфляции и безработицы?

На этом этапе обычно начинают создавать научные комитеты по изучению происходящего; на исследовательские проекты выделяются средства. Существующие модели, мысленные или любые другие, могут требовать пересмотра, обновления, а то и полной переделки, прежде чем к проблеме удастся хотя бы подступиться. Может потребоваться создание социальных образований и систем или их перестройка. Многие глобальные проблемы застряли на этапе общего понимания и пребывают там по сей день. В этом списке международные валютные отношения, энергетика, деградация окружающей среды, экономическое развитие... И особенно сложно разобраться во взаимосвязях этих проблем...

Чтобы модели позволили улучшить общее понимание, прежде всего, необходим обмен идеями и гипотезами, их обсуждение. Модели должны быть четкими и простыми для понимания. Путь от первичных предположений к выводам должен легко прослеживаться, быть логичным. И разумеется, модели должны давать новое представление о том, что происходит в соответствующих системах в реальном мире. Точность в расчетах и чрезмерная детальность на этом этапе совершенно не нужны и, вероятно, принципиально недостижимы. Сначала необходимо на качественном уровне решить, какие элементы системы важны и как они между собой связаны, хотя даже это представляет трудность. Никто заранее точно не знает, в чем корни проблемы и каковы последствия, поэтому границы модели должны быть очень широки — она обычно затрагивает самые разные области знаний. Моделирование на этапе общего понимания работает в первую очередь с *процессами*, а не с результатами. Само построение модели, систематическая постановка вопросов и формулирование новых положений могут оказаться важнее, чем точные расчеты, выполненные по уже готовой, законченной модели. К моменту, когда модель на уровне общего понимания построена, лежащие в ее основе представления и идеи, скорее всего, уже встроились в мысленные модели как разработчиков, так и заказчиков: модель воспринимается как нечто очевидное и само собой разумеющееся.

Если о причине проблемы либо об особенностях системы, ее порождающей, уже сложилось какое-то общее представление, то начинается второй этап работы, который мы называем *построением стратегии*. Если уже принята теория о причинах проблемы, то предложения о поиске ее решений появятся сами собой. Обычно вырисовывается несколько принципиальных направлений для выработки стратегии;

их необходимо оценить, а также учесть компромиссные и возможные совместные решения. Вопросы, на которые модель должна дать ответ, по-прежнему довольно туманны и существуют только в общем виде. Но уже на этом этапе основные силы можно направить на те точки системы, которые представляют собой потенциальные ключевые узлы. Если в страну *X* будет направлена иностранная помощь, должна ли она включать в себя методы планирования семьи и охраны здоровья или это будут оружие и боеприпасы? Если в сельском хозяйстве все регулируется свободными рыночными отношениями, то что произойдет, если цены на зерно будут установлены государством принудительно? Стратегические модели дают не точную, а условную информацию: если следовать такой-то стратегии, какими будут общие последствия?

Чтобы модель позволяла выбирать стратегию, она должна хотя бы в общих чертах воспроизводить поведение реальной системы при всех изучаемых условиях и стратегиях. Модель должна легко перенастраиваться, чтобы на ней можно было проверить различные предположения и варианты действий. Из нее должно быть ясно, почему разные стратегии приводят к разным результатам. На этом этапе точность расчетов уже имеет большее значение, чем на этапе общего понимания, но результаты по-прежнему носят качественный характер; основной упор, как и раньше, делается на процессы.

После того как сформулировано главное стратегическое направление, приходит черед новых вопросов, касающихся детальной реализации, проработки стратегии во всех подробностях. Решение распространять методы планирования семьи потянет за собой ряд других решений, касающихся бюджета, обучения персонала будущих репродуктивных центров, географического распределения, образовательных методик... Решение стабилизировать цены на зерно повлечет за собой создание новых структур, которые будут обеспечивать и поддерживать зерновой запас, разработку четких правил для покупателей и продавцов, а также плана, увязывающего работу рынков, зернохранилищ, систем транспорта и конечных потребителей, чтобы в итоге стабилизация цен произошла на самом низком уровне из всех возможных.

Детально проработанные решения по реализации настолько сложны и требуют учета и обработки такого большого объема информации, что здесь помощь компьютерных моделей просто неоценима. Такие модели должны быть подробны и точны, при этом каждая из них должна отображать только один вариант стратегии, тогда ее границы могут быть довольно узкими. Школы моделирования, занимающиеся детальными проработками, обычно ориентированы на итоговую продукцию. Разработка таких моделей — дело сложное и весьма утомительное, поэтому создатели стремятся сделать модель, которую можно было бы использовать снова и снова, вводя в нее каждый раз новые

данные и получая конкретные прогнозы и рекомендации на конкретные случаи. Если модель нефтеперегонных производств и системы распределения уже построена, в нее потребуется лишь закладывать обновленные и уточненные данные (допустим, по месячным заказам, объемам запасов и ценам), а на выходе мы будем получать подробные инструкции, как добиться наименьших издержек. Разработчики моделей, ориентированных на продукцию, редко вовлекают конечного заказчика в процесс создания модели или пытаются объяснить основные положения модели — на самом деле, в большинстве случаев эти положения непротиворечивы и сомнений не вызывают. Большинство современных компьютерных моделей нацелены именно на детальную проработку решений.

В итоге получается, что разные люди изучают разные этапы создания стратегии, задают разные вопросы, требующие применения моделей разных типов. Каждую из описанных в этой главе методологических парадигм можно представить себе как отдельный инструмент в ящике-переноске у мастера. Чтобы выбрать подходящее приспособление для конкретной цели, нужно знать возможности и назначение каждого из них. В принципе, все перечисленные методы можно использовать для нескольких целей, а если очень постараться, то и для всех целей вместе, но это равносильно тому, что гвозди вы будете заколачивать пилой. В безвыходном положении это можно сделать, но молотком вы забьете гвоздь быстрее и качественнее. Фактически правильный подход к созданию, финансированию, проверке и использованию моделей состоит в том, чтобы вовремя отложить пилу и взять молоток. Конечно, школы моделирования представляют собой нечто большее, чем просто инструменты. Они обладают определенным частным ви́дением мира, поэтому, пожалуй, уместнее будет аналогия не с пилой и молотком, а с телескопом и микроскопом. На практике это означает, что для конкретной задачи важнее правильно выбрать группу разработчиков, а не задавать экспертам по звездному небу вопросы о том, как использовать микроскоп. Для того чтобы выбрать правильный инструмент, нужно четко сформулировать задачу и хотя бы немного разбираться в том, какие вообще существуют инструменты.

2.3. Парадигмы и основные принципы

В этой главе описаны четыре школы моделирования, начиная с той, что больше всего подходит для этапа общего понимания, и заканчивая той, которую чаще всего применяют для детальной проработки. Для каждого из методов мы скажем несколько слов об истории развития, а затем приведем простую модель в качестве примера. Правильнее даже сказать не простую, а очень простую. Ее вполне достаточно,

чтобы проиллюстрировать основные особенности конкретного метода, но, разумеется, она не в состоянии продемонстрировать все тонкости, которые могут быть характерны для настоящих, действующих моделей, выполненных в рамках соответствующей школы. Модели в качестве примера нужны в первую очередь для тех, кого интересует математический аппарат разных школ моделирования. Остальные читатели могут такие технические подробности пропустить.

После простой модели, приведенной в качестве примера, мы перечисляем важные особенности и предположения, свойственные парадигме моделирования, и описываем варианты применения таких моделей в реальной жизни. А в конце рассказываем об основных ловушках и ограничениях метода, с которыми специалисты сталкиваются на практике. Они не обязательно присутствуют во всех моделях, построенных в рамках соответствующего метода. На самом деле лучшие модели обычно не имеют серьезных изъянов — их удалось построить так, чтобы умело обойти ограничения. Тем не менее для каждого метода характерны свои специфические ловушки; в них обычно попадаются студенты, а опытные разработчики всегда держат их в уме и потому успешно избегают. Понимание сильных и слабых сторон, присущих каждой парадигме моделирования, — очень важный шаг на пути к правильному использованию моделей.

Практически все профессиональные разработчики, которым мы давали эту главу на вычитку, требовали внести поправки в описание их собственного метода моделирования, но при этом говорили, что *другие* школы в тексте описаны очень точно. Из этого мы заключаем, что разработчики придерживаются идеализированных представлений о своих методах, видят их так, как описано в учебниках, в то время как чужие парадигмы оцениваются с практической точки зрения. Учебников существует много, желающие могут к ним обратиться самостоятельно, мы же сосредоточимся именно на практической стороне вопроса.

Кроме того, мы хотим подчеркнуть, что методы можно и нужно противопоставлять и сравнивать. Их плюсы и минусы надо обязательно обсуждать. Но при этом нельзя выбрать из них абсолютно лучший или худший вариант. Любое подобное заявление может быть сделано только на основе некоего единого критерия, одного для всех методов. Но поскольку для решения проблем существует большое разнообразие моделей, каждая ставит свои вопросы и имеет свои цели, единой шкалы для сравнения просто нет в природе. Было бы совершенно неправильно отвергать метод понимания в общем и целом из-за недостаточной численной точности, и столь же неправильно обвинять метод детальной проработки решений в узости границ. Различные научные подходы, словно разные инструменты мастера, нельзя оценивать без привязки к тому, какую функцию они должны выполнять.

Это предостережение не только читателю, но и нам самим. Мы сами — разработчики, и приверженность к собственному методу не должна затмевать в наших глазах достоинства других школ. Наша сфера — системная динамика, этот метод будет описан первым, поскольку он полезен на начальном этапе, когда вырабатываются общее понимание проблемы и стратегии решения. Но при этом мы честно скажем и о наших собственных пристрастиях, и об ограничениях метода.

2.3.1. Системная динамика

> Мы знаем, что люди в целом правильно воспринимают свое непосредственное окружение. Они знают, чего пытаются добиться. Осознают, что кризис потребует определенных действий. На них влияют управленческие структуры организаций и сложившиеся традиции. Для них важны собственное благополучие и достижение личных целей. В целом... люди обычно могут описать, *что* они делают, и дать вполне разумное обоснование своим действиям... Обычно они проявляют здравый смысл и используют свои способности для того, чтобы решить основные затруднения... Все эти поведенческие стратегии можно заложить в компьютерную модель, чтобы посмотреть, как они влияют друг на друга и какие могут быть последствия. И во многих случаях выясняется, что вполне понятные стратегии в совокупности образуют систему, которая на самом деле постоянно вызывает проблемы. Другими словами, понятные и разумные организационные действия сами по себе вполне достаточны для того, чтобы вызвать затруднения[7].

Истоки системной динамики. Системная динамика была разработана в Массачусетском технологическом институте в 1950-х гг. У ее истоков стоял Джей Форрестер, по образованию инженер и ученый-компьютерщик. Он свел воедино достижения трех сравнительно новых областей — теории автоматического управления (с ее идеями обратной связи и саморегуляции в системах), кибернетики (изучающей природу информации и ее роль в управлении системами) и теории организации (занимающейся механизмами принятия решений, которые использует человек, и организационными структурами). На основе этих теорий Форрестер построил базовые представления и разработал ряд технических методов для имитационного моделирования сложных, нелинейных систем, содержащих большое количество обратных связей. Изначально такие технические методы применялись для управления промышленными компаниями. Первые системно-динамические модели занимались такими проблемами, как наполняемость складов, изменения на рынке рабочей силы, потеря доли рынка[8].

С той поры методы, разработанные Форрестером и его группой, применялись к самым разным социальным системам, включая города, регионы и даже мир в целом[9]. С самого начала тон в новой области

задавали инженеры, управленцы промышленного сектора и ученые-естественники. Вся литература на тему системной динамики написана в исключительно практическом ключе, для использования на деле. В ней больше внимания уделено описанию конкретных моделей для конкретных задач, чем общему теоретизированию о методах моделирования.

Системная динамика представляет собой подраздел в весьма обширной области имитационного моделирования. Специалисты по имитационному моделированию стараются компьютерными средствами отобразить в модели реальную систему, ее движущие силы, стимулы и влияния — все, что заставляет систему работать. Разумеется, отобразить в упрощенном виде. Имитационные модели строятся на основе причинно-следственных связей. Каждый элемент в системе подробно описывается; указывается, как он реагирует на возможные изменения в других элементах, на сочетания изменений... На момент запуска модели каждый элемент в ней имеет некое начальное значение, но затем компьютер раз за разом пересчитывает их по заранее прописанным зависимостям, по всему имитируемому периоду, пока программа не завершит работу и не выдаст итоговые значения.

Для примера можно привести простую имитационную модель роста численности населения — она состоит всего из двух уравнений. Первое гласит, что численность всегда увеличивается на определенное количество процентов в год — например, на 10% .

$$\text{Прирост численности населения за год} = 0{,}1 \cdot \text{Численность населения}$$

Второе уравнение приплюсовывает значение прироста за год к текущей численности.

$$\text{Численность населения (в текущем году)} = \text{Численность населения (в прошлом году)} + \text{Прирост численности населения за год}$$

Если начальное значение составляло ровно 1000 человек, то модель будет выдавать следующие значения (см. табл. 2.1).

Таблица 2.1

Год	Численность	Прирост численности
0	1 000	100
1	1 100	110
2	1 210	121
3	1 331	133,1
и т. д.		

Имитационное моделирования очень часто используется в инженерных науках, в экономике, экологии... Запись дифференциальных уравнений, описывающих поведение системы во времени, — задача творческая, причем ограничений у нее мало. В основном они связаны с парадигмой предметной области, в рамках которой выполняется работа, а не с применением конкретной техники моделирования. Создание имитации системы — задача настолько общая и трудно формализуемая, что сделать парадигму из самого процесса имитации практически невозможно. Это никак не облегчит постановку правильных вопросов и упорядочивание наблюдений о мире.

И все же системная динамика включает в себя не только основополагающую идею о создании имитации системы, но еще и набор положений, методов представления и воззрений, которые делают из нее вполне определенную парадигму моделирования. У тех, кто занимается системной динамикой, складывается собственное ви́дение мира, особенности которого станут понятны из еще одного примера — небольшой модели и описания основных принципов системной динамики.

Пример системно-динамической модели. На рис. 2.1 показана схема несложной системно-динамической модели, характерной для рыночных продаж любого товара. Связи на диаграмме — причинно-следственные, поэтому отображаются однонаправленными стрелками*. Товар на рынок попадает через склад. Запасы на складе увеличиваются благодаря поступлению товара от производителя и уменьшаются по мере того, как от потребителей поступают заказы и им отгружается проданный товар. Производитель назначает цену на товар; в данном случае в модели цена задается явным образом. В схему заложено предположение о том, что производители заботятся об оборачиваемости склада — их интересует количество времени, в течение которого склад способен обеспечивать отгрузку товара по текущей цене заказа. Если период оборачиваемости слишком велик, затраты на хранение столь большого количества товара будут неоправданно велики. Если период оборачиваемости слишком мал, существует риск того, что в какой-то момент склад опустеет, и компания будет терять деньги из-за потери продаж и бесполезного простоя складских площадей.

Производители стремятся добиться желаемой оборачиваемости склада и для этого могут менять цену на товар. Изменение цены, в свою очередь, влияет на скорость производства продукции и на заказы. Более высокие цены подстегивают производство, но несколько снижают продажи; более низкие цены — наоборот.

---

* Обсуждение причинности и правил отражения причинно-следственных связей приводилось в главе 1.



Рис. 2.1. Схема причинно-следственных связей в простой системно-динамической модели

Компьютерная модель, построенная по правилам системной динамики и включающая в себя все перечисленные предположения, показана на рис. 2.2*а*. В нее входят 12 уравнений, записанных на языке программирования DYNAMO, которые можно свести к шести вполне простым алгебраическим уравнениям типа:

$$\text{Запасы}_t = \text{Запасы}_{t-1} + \text{Производство}_{t-1 \to t} - \text{Заказы}_{t-1 \to t}$$

Величина складских запасов в любой момент времени (t) рассчитывается через величину складских запасов в предыдущий промежуток времени ($t - 1$) плюс количество товара, поступившего от производителя за прошедший период ($t - 1 \to t$), и минус количество товара, проданного за тот же период. Уравнение на языке DYNAMO, обозначенное буквой N, присваивает складским запасам начальное значение 500 — с этой величины будет начат расчет.

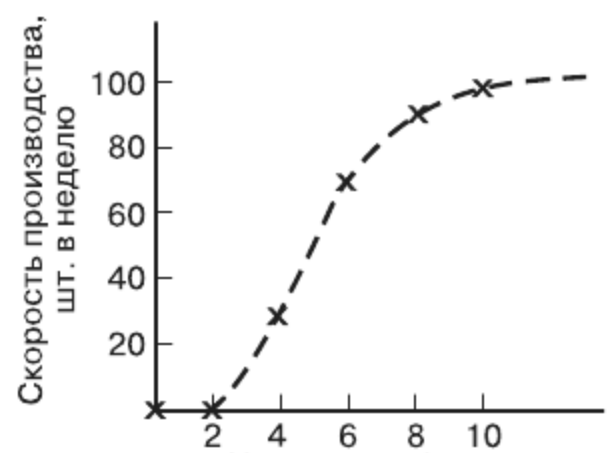
$$\text{Производство}_{t \to t+1} = f(\text{Цена}_t)$$

Количество товара, произведенного за любой интервал времени, — нелинейная функция от цены, действовавшей на момент начала этого интервала. Взаимосвязь аналогична кривой краткосрочных поставок из экономической теории. Вид нелинейной функции, использованной в этой модели, показан на рис. 2.2*б*. Мощность производства ограничена 100 шт. в неделю; даже при самой высокой цене превысить эту величину невозможно. При цене ниже 2 долл. за шт. производство не окупает себя, поэтому на графике «*б*» в этой области выпуск товара просто прекращается. Точки на графике на рис. 2.2*б* непосредственно перенесены в уравнения DYNAMO, таким способом создается кусочно-линейная зависимость. В системе она аппроксимируется

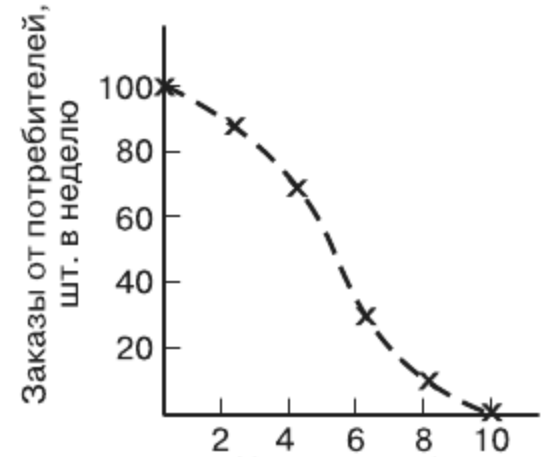
а)

```
L  INV.K=INV.J + (DT) (PROD.JK-PURCH.JK)
N  INV=500
R  PROD.KL=TABLE(PRODT,PRICE.K,0,10,2)
T  PRODT=0/0/30/70/90/100
R  PURCH.KL=TABLE(PURCHT,PRICE.K,0,10,2)
T  PURCHT=100/90/70/30/10/0
A  COV.K=INV.K/PURCH.JK
C  DCOV=1O
R  PCR.KL = PRICE.K*TABLE(PCRT,COV.K/DCOV,0,2,.4)
T  PCRT = .8/.4/.1/–.1//–.4/–.8
L  PRICE.K = PRICE.J+(DT) (PCR.JK)
N  PRICE = 2
C  DT = .1
C  LENGTH = 20
PLOT INV = 1/PRICE = $/PURCH = D,PROD = S
```

б)



в)



г)

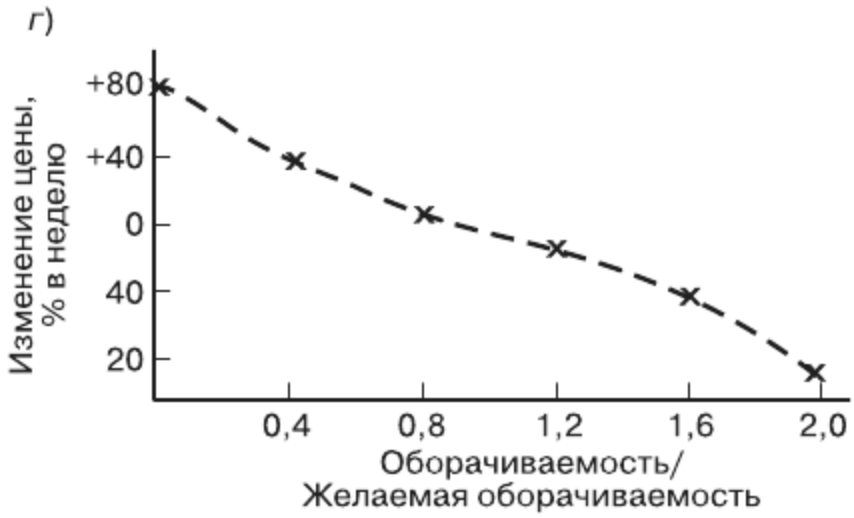


Рис. 2.2. Простая системно-динамическая модель рыночной системы: *а*) уравнения на языке DYNAMO; *б*) изменение скорости производства в зависимости от цены; *в*) изменение спроса (кол-ва заказов) в зависимости от цены; *г*) изменение цены в зависимости от отношения производства к спросу

в непрерывную нелинейную зависимость. Этот подход позволяет быстро и без особого труда представить даже самые сложные нелинейные взаимосвязи.

$$\text{Заказы}_{t \to t+1} = f(\text{Цена}_t)$$

Заказы от потребителей изменяются также по нелинейной зависимости от цены — классической кривой спроса из экономической теории. Предполагаемая зависимость показана на рис. 2.2*в*. Потребители не могут заказывать более 100 шт. в неделю, даже если цена будет минимальной. Если же цена будет слишком высокой, свыше 10 долл. за шт., заказы иссякнут из-за дороговизны.

$$\text{Оборачиваемость}_t = \text{Запасы}_t / \text{Заказы}_{t-1 \to t}$$

Это уравнение определяет период оборачиваемости склада как отношение складских запасов к величине спроса — количеству поступивших заказов. Предполагается, что производитель старается поддержать период оборачиваемости на уровне 10 недель; эта цель не изменяется со временем. Количество товара, необходимое для поддержания периода оборачиваемости, меняется в зависимости от величины спроса на товар.

$$\text{Величина изменения цены}_{t \to t+1} = \text{Цена}_t \cdot f''(\text{Оборачиваемость}_t / \text{Желаемая оборачиваемость})$$

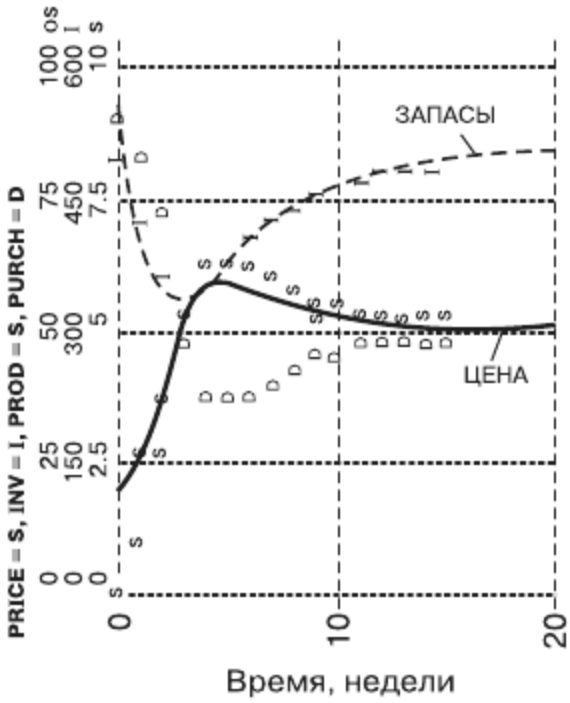
В зависимости от того, больше или меньше товаров находится на складе (выше или ниже период оборачиваемости, чем желаемое значение), производитель соответственно уменьшает или увеличивает выпуск продукции. Нелинейная зависимость этого соответствия показана на рис. 2.2*г*. Если текущая оборачиваемость равна желаемому значению (COV/DCOV = 1), то цена на товар не изменяется. Если период оборачиваемости превышает желаемый (COV/DCOV > 1), то склад переполнен, и тогда цена снижается на определенный процент. Этот процент тем выше, чем сильнее оборачиваемость отличается от желаемого значения. Если период оборачиваемости слишком мал (COV/DCOV < 1), то цена увеличивается.

$$\text{Цена}_t = \text{Цена}_{t-1} + \text{Величина изменения цены}_{t-1 \to t}$$

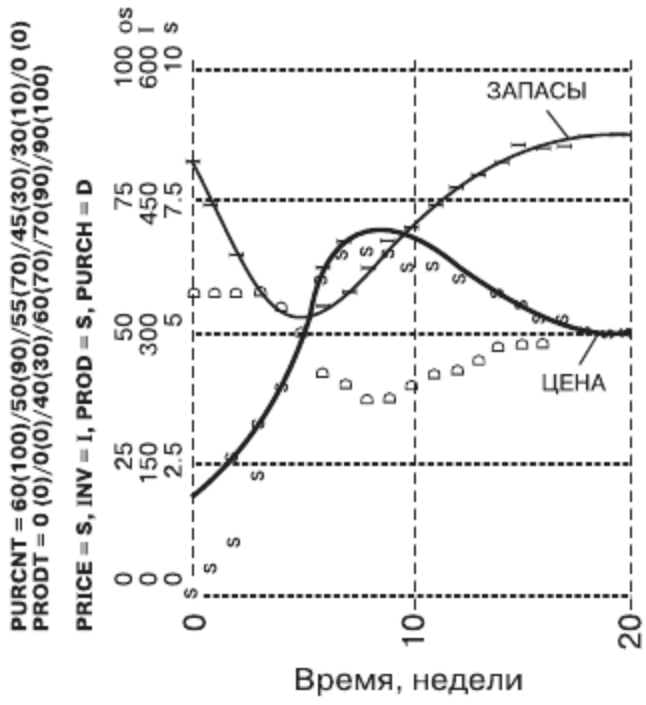
Цена в любой момент времени рассчитывается как цена за предыдущий период плюс (или минус, поскольку цена может как увеличиваться, так и уменьшаться) величина изменения цены за период. Такой расчет предполагает, что изменение цены происходит непрерывно и постепенно, поскольку производители избегают менять цены резко, скачкообразно — их могут вынудить к этому только какие-то экстремальные обстоятельства. В итоге изменение цены происходит не одномоментно, а постепенно, желаемое значение достигается не сразу. В модели установлено начальное значение цены 2 долл. за единицу товара.

Остальные уравнения, приведенные на рис. 2.2*а*, задают компьютеру продолжительность интервала для выполнения расчетов и форму, в которой будут выводиться результаты.

а)



б)



в)

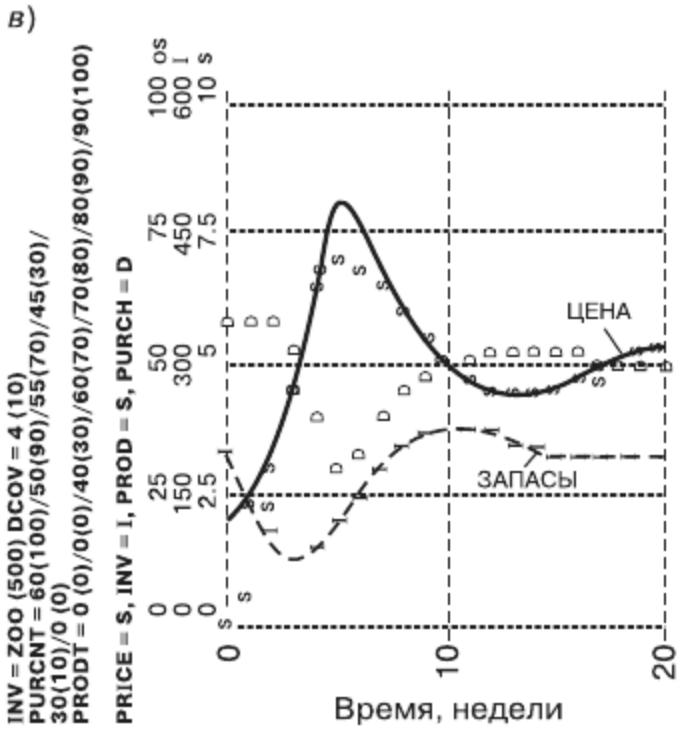


Рис. 2.3. Результаты расчетов простой системно-динамической модели рыночной системы:
а) высокая эластичность спроса и предложения, большой желаемый период оборачиваемости склада;
б) низкая эластичность спроса и предложения, большой желаемый период оборачиваемости склада;
в) низкая эластичность спроса и предложения, малый желаемый период оборачиваемости склада

Графики, которые выдает модель, показаны на рис. 2.3. Первый из них — рис. 2.3*а* — иллюстрирует изменения цены, поставок и спроса за период продолжительностью 20 недель, в соответствии с параметрами, указанными на рис. 2.2*а*. Расчет начинается со стартовых значений, далеких от равновесия, и приводит к итоговой стабильной цене, пройдя сначала небольшой пик. Складские запасы, наоборот, сначала дают провал, но затем восстанавливаются до равновесного уровня. На второй группе графиков, на рис. 2.3*б*, показаны расчеты при тех же начальных значениях, но при меньшей эластичности спроса и предложения, т. е. при менее выраженной реакции производителей и потребителей на изменение цены, чем показано на рис. 2.2*б* и 2.2*в*. При таких условиях системе требуется больше времени, чтобы прийти к равновесию, пик цены оказывается выше, а провал в наполняемости склада — глубже. Третья группа графиков, показанная на рис. 2.3*в*, отражает результаты расчетов не только при меньшей эластичности спроса и предложения, но и при другом значении желаемой оборачиваемости (не 10 недель, а 4), и при начальном количестве товара на складе не 500, а 200 шт. Меньшее количество начальных запасов делает систему нестабильной. Прежде чем ей удастся достичь равновесия, произойдет несколько скачков и провалов. Обратите внимание: три разных результата, вариации колебательного движения, получены изменением только *параметров* (численных значений) в модели. *Структура* причинно-следственных связей при этом не изменялась.

Модель использует предположения об общем поведении системы, принимаемых решениях, целях производителей, потребителей, владельцев склада, а также простые физические предположения — например, что произведенный товар поступает на склад и находится там до момента, пока не будет продан. В элементах системы со временем происходят определенные изменения. В результатах расчетов можно увидеть и равновесное значение, к которому пришла система, и то, каким путем она его достигла. Обычно модель запускают многократно, перебирая различные начальные значения и разные наборы параметров. Это позволяет понять базовые динамические характеристики системы — например, роль склада как стабилизирующего буфера и взаимосвязь между эластичностью спроса/предложения и временем, которое необходимо для достижения равновесия. Если поставлена задача создать систему, спроектировать ее строение, то модель следует запускать еще и с разными вариантами ценовых зависимостей, пока не будет найдена кривая изменения цены, позволяющая быстро погасить колебания и привести складские запасы к желаемому уровню.

Более строгий вариант системно-динамической модели для описываемой системы должен был бы включать в себя более подробное представление зависимостей между производством, спросом и ценой. Цепочка поставок может быть длиннее и включать в себя склад

при производстве, склад у дистрибьютора и склад при розничной торговой точке. Спрос может быть представлен как разница между текущим запасом товаров для потребителей и желаемым запасом. В свою очередь желаемый запас товаров для потребителей может варьироваться в зависимости от изменений в их доходах, от проводимых рекламных акций. Можно задать разницу между краткосрочными и долгосрочными поставками — это делается в явном виде, через указание производственных мощностей. При вводе в строй новых средств производства всегда будет сказываться запаздывание. В ценовую политику следовало бы заложить учет расходов на производство[10].

Особенности системной динамики. Из самого названия уже следует, что системная динамика занимается вопросами динамических изменений в сложных системах и изучает особенности их поведения во времени. Специалисты по системной динамике интересуются в первую очередь не численными значениями переменных в системе в разные годы — прогнозирование этих величин далеко не самая важная задача. Гораздо большее значение имеет понимание общих тенденций в динамике системы: при каких условиях система как целое демонстрирует устойчивость или неустойчивость, в каких случаях проявляются колебания, рост, упадок, самовыравнивание или приход к равновесию. Чтобы выявить такие тенденции, разработчики включают в модель все идеи и положения, относящиеся к изучаемой области, причем особый упор делается на физических и биологических науках, а также социальных теориях, хотя последние чаще используются в несколько переформулированном виде, фактически их открывают заново и дают им другие названия.

Главное положение в парадигме системной динамики гласит, что свойственные любой сложной социальной системе особенности динамики проистекают из внутренней причинно-следственной структуры системы — из набора физических ограничений и социальных целей, стимулов, влияний, которые вынуждают людей вести себя определенным образом. Именно из этого складываются основные тенденции поведения всей системы как целого. Специалисты по системной динамике ищут объяснения насущным социальным проблемам в первую очередь во внутренней структуре системы, а не во внешних воздействиях на нее, неправильных параметрах или случайных событиях. Например, специалист по системной динамике, ведомый парадигмой, будет объяснять энергетические проблемы США с точки зрения истощения запасов, внутренней ценовой политики и возросшего материального потребления. Он не будет возлагать вину на страны ОПЕК (организация стран — экспортеров нефти), объявляющие эмбарго на поставки нефти, или плохие погодные условия. И решение проблемы он станет искать в изменении целей системы и видов информации, которая влияет на принятие решений, а не в корректировке внешней

политики, налогов, расходов на геологическую разведку, стандартов и затрат на защиту окружающей среды. Упомянутое главное положение не обязательно винит во всех проблемах только неправильную структуру системы, просто специалистов по системной динамике больше интересуют именно такие системы.

Специалисты-системщики используют для понимания структуры двусторонние причинно-следственные связи (или петли обратной связи) — это ключевое понятие, на котором строится все остальное. Социальные или индивидуальные решения принимаются на основе информации о состоянии системы или ее окружения. Решения ведут к выполнению действий, которые должны изменить (или наоборот, сохранить) состояние системы. Когда о состоянии появляется новая информация, она ведет к принятию новых решений, которые в свою очередь ведут к новым изменениям (см. рис. 2.4). Каждый подобный замкнутый цикл причин и следствий образует петлю обратной связи. Системно-динамические модели состоят из большого количества таких петель, связанных друг с другом в единую структуру. Обычно они отображают замкнутые системы; большинство переменных характеризует именно параметры обратной связи, они обусловлены внутренними причинами. Если существует какой-либо внешний фактор, оказывающий влияние на систему извне, но при этом никак от системы не зависящий, то он отображается в модели внешней переменной.

Петли обратной связи вызывают не одномоментные изменения — хронология процессов в системе зависит от присутствия в ней элементов, для которых характерны задержки и запаздывания. Такие элементы, обладающие инерцией, принято называть переменными состояния или *уровнями*. Каждый уровень отображает собой накопленное количество, запас вещественного или информационного характера. Примерами уровней могут служить численность населения, величина капитала, складские запасы, восприятие каких-либо величин.

Элементы системы, относящиеся к принятию решений, реализации действия или изменения уровня (часто, хотя и не всегда, за ними стоят управленцы и лица, принимающие решения), принято называть *темпами*. Темп характеризует информационный или физический поток к уровню или от него. Примерами могут служить коэффициенты рождаемости и смертности, процент реинвестирования, объемы отгрузок товара со склада... На рис. 2.4 приведено несколько примеров уровней и темпов (потоков) и показано, что они причинно зависят друг от друга и образуют петли обратных связей.

Представление системы в виде совокупности обратных связей, уровней и темпов требует, чтобы четко прослеживалась разница между уровнями (запасами) и темпами (потоками) реальных физических ве-

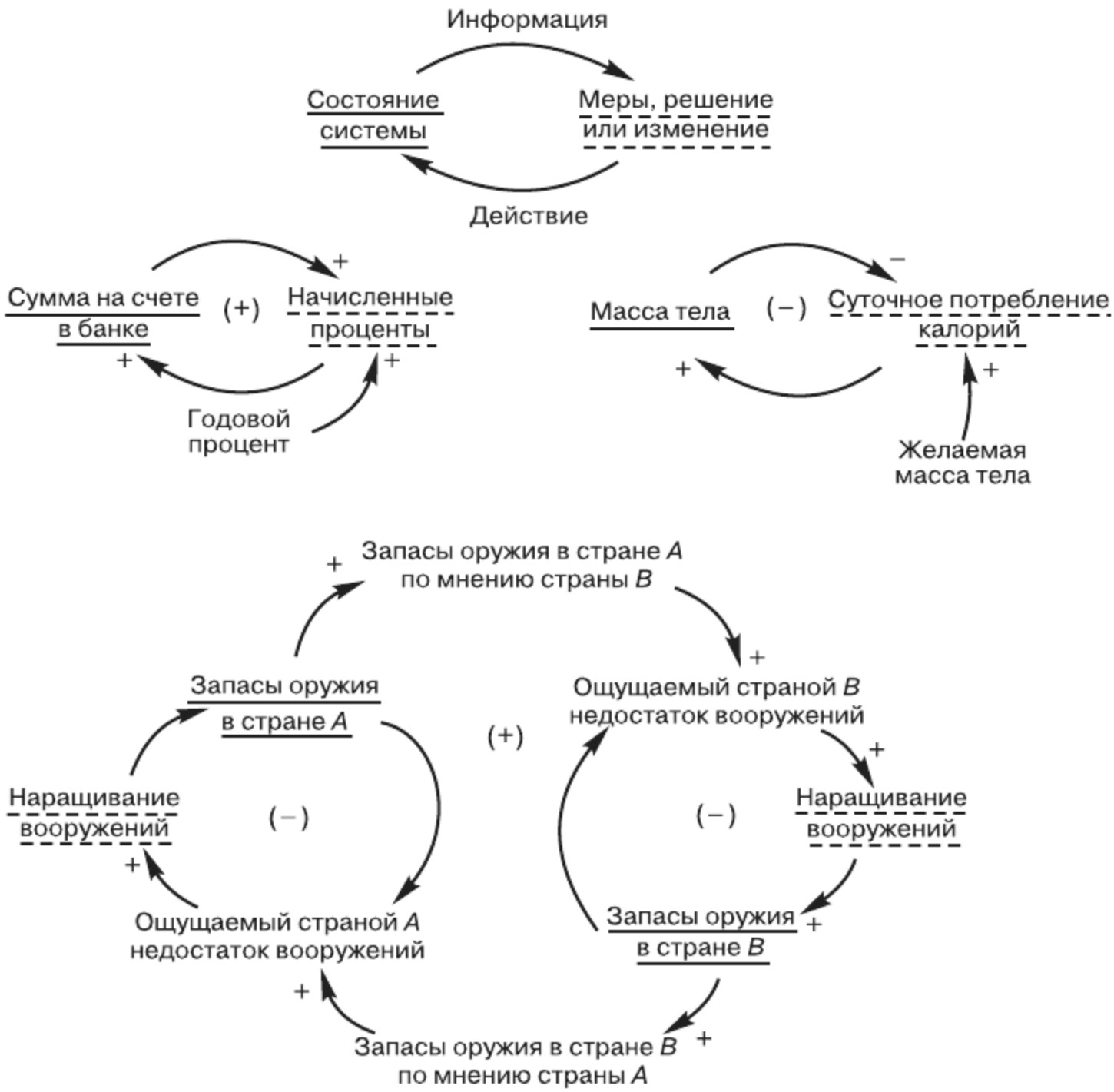
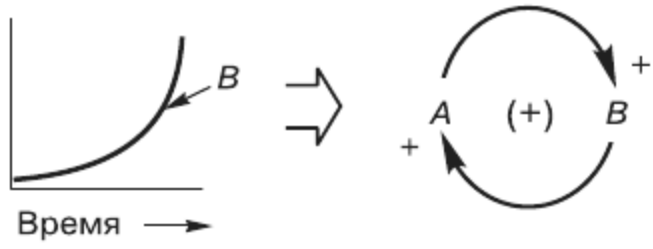


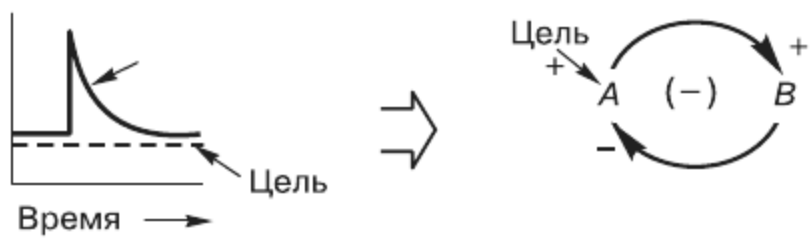
Рис. 2.4. Примеры циклов обратной связи. Стрелками отображены причинно-следственные связи. Положительные петли отмечены знаком «+», отрицательные — знаком «–». Уровни подчеркнуты сплошной линией, а параметры, характеризующие темпы их изменения, — пунктиром. Элементы, названия которых не подчеркнуты, представляют собой цели, ожидания или другие параметры, отображающие связи информационного характера.

личин и информации. В системно-динамической парадигме физические потоки ограничены физическими законами — например, законом сохранения массы и энергии. Информация, наоборот, не подчиняется законам сохранения, она может одновременно присутствовать в нескольких местах. Но у нее есть другое ограничение: она не может влиять на развитие событий сразу с момента своего появления. Информация может поступить с запаздыванием, она может быть искажена, расширена или частично утрачена.

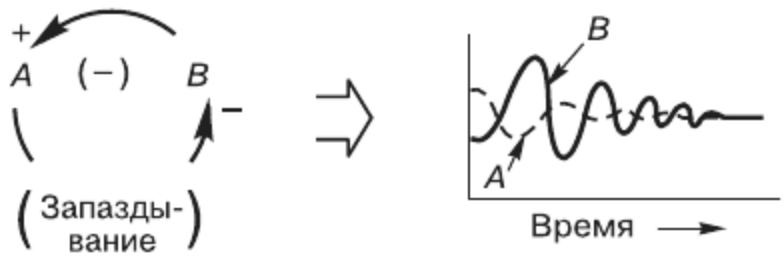
Следует различать два принципиально разных типа петель (циклов) обратной связи. Положительные петли стремятся усилить любое изменение и порождают экспоненциальный рост. Отрицательные циклы пытаются противодействовать любым воздействиям и вернуть систему в целевое состояние, положение равновесия. В различных системах проявляются определенные сочетания этих двух видов петель, что позволяет специалистам по системной динамике описать несколько типовых вариантов поведения системы в зависимости от ее структуры. Например, в основе реальных систем, демонстрирующих экспоненциальный рост, лежит положительная петля обратной связи, доминирующая над всеми остальными.



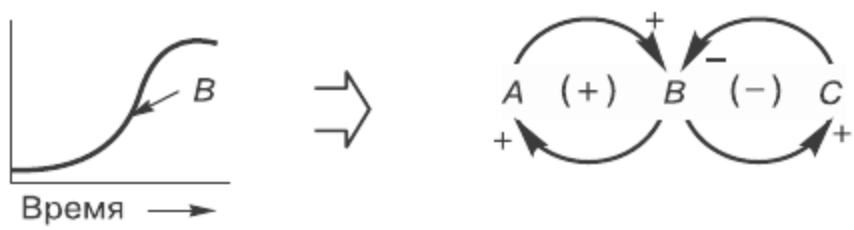
Если система после воздействия пытается вернуться к исходному состоянию, это говорит о том, что в ее основе лежит как минимум один сильный отрицательный цикл обратной связи.



Если в структуре системы присутствует одна отрицательная петля обратной связи как минимум с двумя уровнями, то в поведении могут проявляться колебания.



Рост по сигмовидной кривой (ее еще называют кривой *S*-типа) свидетельствует о том, что в системе присутствуют положительная и отрицательная петли обратной связи, каждая зависит от другой по нелинейному закону, а существенных запаздываний по времени нет.



Эти и другие варианты зависимости поведения системы от структуры — базовые представления о динамике, позволяющие специалистам интерпретировать общее поведение систем в реальном мире, строить гипотезы причинности такого поведения и отыскивать в модели структурные недочеты и отсутствующие звенья. Во многих совершенно разных системах прослеживаются черты поведения определенного типа. Например, с точки зрения специалиста по системной динамике модель, описывающая изменение численности населения, с коэффициентами рождаемости и смертности, структурно и поведенчески схожа с моделью, описывающей изменение капитала, вовлеченного в производство, с реинвестированием средств и амортизацией. Выглядят они следующим образом*:



Их структура ответственна за то, что системы склонны к экспоненциальному росту, экспоненциальному снижению либо колебаниям, и для них совершенно не свойственно поведение по *S*-кривой, поскольку в структурах присутствуют запаздывания.

Как показывают приведенные примеры, наличие в системе задержек и запаздываний оказывает определяющее влияние на поведение системы. Теория системной динамики придает особое значение запаздываниям различных типов и их последствиям, независимо от того, какие потоки они затрагивают — физические или информационные. Разработчики системно-динамических моделей всегда ищут в реальных системах связи с запаздыванием и стараются тщательно отображать их в моделях.

Нелинейные зависимости тоже имеют очень важное значение для правильного объяснения поведения систем. Если взаимосвязь нели-

---

* Под «рождаемостью» и «смертностью» на структурных диаграммах подразумеваются соответственно суммарное количество родившихся и суммарное количество умерших за определенный период. Именно эти величины используются в динамических расчетах численности населения при моделировании.

нейна, то мощность соответствующей петли обратной связи будет меняться в зависимости от состояния других частей системы. Связанные в единую систему нелинейные петли обратной связи порождают поведение, которое называется *обратимым доминированием*. В одних условиях наиболее активна одна часть системы, в других — другая. Модель, построенная на нескольких петлях обратной связи, имеющих нелинейный характер, может демонстрировать широкое разнообразие вариантов поведения, причем довольно сложных. Может проявляться даже изменяющаяся во времени адаптивная структура системы. Специалистов по системной динамике учат обращать особое внимание и правильно распознавать нелинейные зависимости — это помогает понять, как система работает.

Нужно честно признать, что нелинейные обратные связи с запаздыванием довольно сложно описать математически. Чтобы нелинейности и временны́е запаздывания было проще отображать при моделировании, Форрестер с коллегами даже были вынуждены разработать специальный язык имитационного моделирования DYNAMO[11]. С этим языком могут работать даже те, у кого нет глубокой математической подготовки; DYNAMO широко применяется в системной динамике благодаря простоте и удобству и из-за этого даже считается признаком системно-динамической модели. Но на самом деле любую системно-динамическую модель можно описать и просчитать на любом языке программирования, будь то Бейсик, Фортран или другие. Верно и обратное: язык DYNAMO можно применять для обычного, линейного программирования, для описания открытых систем, которые не имеют практически ничего общего с системно-динамическими моделями.

Наконец, последняя особенность системно-динамической парадигмы состоит в том, что особое внимание уделяется скрытым причинно-следственным механизмам, независимо от того, поддаются они прямому наблюдению или нет. Они важнее, чем явные, лежащие на поверхности корреляции. При моделировании социальных систем в основе любой отображаемой причинности лежат человеческие мотивы и устремления. Специалистов по системной динамике приучают всегда учитывать и в явном виде включать в модель такие факторы, как желания, ожидания, ощущения и цели. Информацию о подобных поведенческих факторах черпают из социальной теории и психологии, из опроса управленцев, составляющих часть моделируемой системы, из наблюдения за процессом принятия решений в реальной системе в самых разных внешних условиях.

Системно-динамические модели в основном предназначены для общего понимания и для разработки общих стратегий. Именно на этих стадиях принятия решения они приносят наибольшую пользу. Из-за

этого они ориентированы на процессы, достаточно просты*, невелики по размерам и носят обобщающий характер. Большинство таких моделей включает в себя от 20 до 200 внутренних переменных. Взаимосвязи в каждой конкретной модели, как правило, непосредственно следуют из мысленных моделей, поэтому они просты и интуитивно понятны. Парадигма требует, чтобы каждый элемент и связь в модели имели в реальной системе однозначный прототип; в модель нельзя добавлять что бы то ни было ради математического удобства или соответствия историческим традициям. Благодаря высоким стандартам, изначально установленным Форрестером, системно-динамические модели обычно правильно и четко документируются, их несложно воспроизвести.

Основные направления использования системной динамики. Парадигма системной динамики предполагает, что мир состоит из замкнутых, обусловленных обратными связями, нелинейных систем с запаздываниями. Поэтому системная динамика лучше всего подходит для описания именно таких систем: обладающих петлями обратных связей, для которых характерны запаздывания, замкнутых и нелинейных. Как правило, такие системы проявляют различные варианты динамического поведения, носят междисциплинарный характер, их временны́е диапазоны достаточно широки.

Вот несколько примеров вопросов, которые адресуют системно-динамическим моделям.

Почему для североамериканских городов характерны циклы развития с периодом примерно 100—200 лет, когда они проходят сначала этап роста, затем застоя и спада? Какие урбанистические программы могли бы вернуть экономическую активность в города, находящиеся в стадии застоя?[12]

Как примитивные сельскохозяйственные общества, использующие подсечно-огневое земледелие, контролируют численность населения, и какие приемы земледелия следует использовать для обеспечения устойчивого образа жизни в экологически уязвимой окружающей среде?[13]

Что лежит в основе краткосрочных и долгосрочных экономических циклов, какие национальные программы облегчили бы последствия экономических спадов?[14]

Чем было вызвано уменьшение количества экономически состоятельных молочных ферм в штате Вермонт и какие меры позволят бороться с этим явлением?[15]

---

* Из общего правила о среднем количестве переменных в модели выбиваются некоторые исключения — например, модель национальной экономики США, созданная Форрестером и его коллегами в Массачусетском технологическом институте: она насчитывает более 2000 внутренних переменных.

Какая политика поможет энергетике США осуществить постепенный переход с использования нефти на применение других источников энергии?[16]

Во всех перечисленных исследованиях временной диапазон составлял 30 и более лет, и все модели были предназначены для общего понимания и/или выработки стратегий.

Проблемы и ограничения системной динамики. Язык программирования DYNAMO, связанный с методами системной динамики, — это палка о двух концах. С одной стороны, для его использования не нужно никаких специфических знаний в компьютерной области. Из математической подготовки вполне достаточно обычного курса алгебры. Компилятор DYNAMO сам выстроит уравнения в нужном порядке, проведет имитационный расчет по времени, выведет результаты в виде графиков и отследит типовые ошибки в форматировании и логике. Разработчик модели должен лишь обладать знаниями и суждениями о взаимосвязях в реальной системе. Навыки продвинутого программиста ему не потребуются.

С другой стороны, кроме безусловных преимуществ у этого программного пакета есть и недостатки. Во-первых, из-за него складывается представление, будто моделирование — занятие очень простое, и даже новички, едва изучившие язык программирования, ощущают себя искушенными разработчиками и проявляют чрезмерную уверенность в своих силах. Во-вторых, поскольку в модель можно просто и быстро внести изменения, новички и опытные разработчики испытывают непреодолимое желание «поиграть» с настройками и перебрать как можно больше вариантов. Эта игра может тянуться бесконечно, в то время как гораздо полезнее было бы уделить время анализу уже проведенных экспериментов и сделать из них правильные выводы. Наконец, простота, с которой в модель могут быть добавлены новые элементы и связи, приводит к тому, что разработчики слишком увлекаются и создают чрезмерно сложные, «навороченные» системы, в структуре которых разобраться невозможно.

Слишком сложные, запутанные системы и легкость, с которой их можно создавать, — общая проблема для самых разных школ моделирования, но особенно остро она стоит в системной динамике. Философия этой области и ее задача способствовать общему пониманию требуют максимальной простоты и прозрачности. Модель должна быть легка для понимания, четко пояснять поведение системы. Специалисты по системной динамике признают проблему с излишней сложностью моделей и всегда подчеркивают (как при проведении обучения, так и в своих научных работах и публикациях) необходимость и при этом сложность создания простых методов. У специалистов по системной динамике есть своеобразная инстинктивная склонность:

критиковать сложные модели и любоваться простыми. Но если бы вы только знали, каких трудов стоит привить подобное стремление к простоте! На это затрачивается очень много сил, и добиться результата очень непросто.

Упор, который в системной динамике делается на простоте, соотносится с целями, ради которых применяется этот метод. Но одновременно с этим сужается диапазон возможного применения, в первую очередь в области, описывающей поведение большой совокупности количественных величин. Практически любая школа моделирования может описать распределение (душевое или территориальное) доходов, ресурсов, возможностей, загрязнения или любых других численных параметров, прибегнув к «методу грубой силы»: разукрупнению, дополнительной детализации модели. Каждый изучаемый класс, личность или область описываются в явном виде, необходимо учитывать между ними все потоки благ и все превратности судьбы. Разбиение существующих элементов даже на небольшое количество дополнительных классов и уровней может чрезвычайно усложнить модель. Разработчик, стремящийся к простоте и четкости, постарается избежать любой лишней детализации. Весьма вероятно, он предпочтет не учитывать вопросы распределения — возможно, даже изначально не задастся ими. Это совсем не означает, что системная динамика не может заниматься вопросами распределения, однако ее парадигма предполагает, что к разукрупнению прибегать все-таки не стоит. Впрочем, некоторое пренебрежение вопросами распределения может исчезнуть по мере развития моделирования — в компилятор DYNAMO III встроены функции матричного счисления, что делает детализацию и разукрупнение не такими трудоемкими задачами.

Во всех методах моделирования разработчики сталкиваются с тремя проблемами: оценкой параметров, проверкой чувствительности и оценкой адекватности модели. Точность задания параметров в системной динамике не так важна, как в других методах моделирования. Статистическая обработка данных применяется реже, и тому есть несколько причин. Во-первых, большинство системно-динамических моделей занимается проблемами, для которых нет нужды в прецизионной точности или детальности расчетов — для общего понимания проблем не нужны высокоточные вычисления. Во-вторых, временной диапазон для большинства проблем, изучаемых системной динамикой, очень велик и исчисляется даже не годами, а десятками лет. За это время исходные величины сильно изменятся, поэтому статистический анализ накопленных исходных данных не так уж и нужен. В-третьих, нелинейная структура обратных связей в системно-динамических моделях делает их менее чувствительными к точности задания исходных значений параметров, чем линейные модели, которые обратных связей не имеют. Наличие большого количества отрицательных петель

обратной связи, каждая из которых стремится поддержать значение переменных в определенном диапазоне, сглаживает последствия от неточности задания параметров или ошибок в каком-либо цикле обратной связи, поскольку другие циклы сыграют компенсирующую роль.

Таким образом, системы, управляемые обратными связями, демонстрируют бóльшую устойчивость к неточности задания численных величин, чем это характерно для открытых систем, не замкнутых в циклы. Разумеется, это не означает, что параметры в модели можно задавать наугад или выбирать случайным образом. Это значит лишь, что в большинстве случаев нет необходимости тратить время и деньги на выполнение строгих и точных расчетов, поскольку это не увеличит полезность модели. Специалисты по системной динамике часто используют параметры, заданные по принципу «пол-потолок», попадающие в диапазон реально возможных значений, и этого вполне достаточно для того, чтобы модель имитировала поведение реальной системы. Тем не менее в системной динамике нет никаких препятствий тому, чтобы использовать статистические методы — это оправданно в тех случаях, когда имеются достаточно точные и представительные исходные данные, а цель модели требует повышенной численной точности[17].

Нечувствительность системно-динамических моделей к численной точности частично объясняется структурой обратных связей, но, кроме этого, имеет значение еще и понимание чувствительности, присущее парадигме системной динамики. Результаты, которые выдает модель, следует оценивать не количественно, не по значениям того или иного параметра в тот или иной год, а качественно, по типу поведения (рост, спад, колебания, устойчивость, неустойчивость). Модель можно назвать чувствительной к какому-либо параметру лишь в том случае, если изменение его численного значения принципиально меняет поведение системы (например, рост сменяется упадком или затухающие колебания превращаются в расходящиеся) либо выводы о том, какой должна быть стратегия. Чувствительность подобного рода возникает довольно редко, как в системно-динамических моделях, так и в реальных системах. Но иногда все же встречается. Собственно, выявление чувствительности к какому-то конкретному параметру — уже важный результат моделирования, поскольку это сигнал к тому, чтобы отнестись к нему со всей внимательностью: этот фактор может быть одной из ключевых точек воздействия на реальную систему.

В системной динамике нет строгой теории или методов для анализа чувствительности, проверки всего диапазона неточно заданных параметров на то, как они повлияют на выработку стратегии. Нестрогие теоремы о зависимости между структурой и поведением, заложенные в парадигму, иногда позволяют опытному специалисту по системной динамике обнаружить потенциально чувствительные параметры — он

может заметить их в структуре модели, и тогда не нужно перебирать все параметры системы. Правда, такой интуитивный метод проверки на чувствительность подходит только для маленьких моделей.

Парадигма системной динамики предполагает качественную оценку и для адекватности модели. Эта оценка неформальна — специалисты по системной динамике вообще стремятся не использовать точные, численные показатели, чтобы характеризовать достоверность и адекватность модели. Обычно говорят не об абсолютной адекватности, а именно о *достоверности*, *полезности* модели — действительно ли она в достаточной степени представляет реальную систему, чтобы ответить на поставленные вопросы? Убедительна ли ее структура, чтобы в соответствии с полученными выводами принимать конкретные действия? В системной динамике по определению любая модель не может быть абсолютно адекватна, ведь она представляет собой заведомое упрощение. Кстати, именно поэтому довольно легко добиться статистического соответствия накопленным данным за прошлые периоды, и именно поэтому нет смысла тратить на это силы.

Специалист по системной динамике убедится в достоверности своей модели, если она будет соответствовать ряду условий.

1. Каждый элемент и связь в модели имеют четкое соответствие явлениям в реальном мире, не противоречат никаким наблюдениям или выполненным измерениям.
2. Когда модель используется для имитации периодов во времени, каждая переменная демонстрирует качественное и приближенно-количественное поведение, соответствующее наблюдениям за реальной системой. В частности, модель четко описывает изучаемую проблему.
3. Когда модель запускается для набора крайних значений параметров, ее поведение остается правдоподобным (физические значения не покидают реально возможных пределов, величины самопроизвольно не меняют знак, не проявляется заведомо невозможное поведение).
4. Параметры модели, чувствительные к изменениям численного значения, и в реальной жизни чувствительны к таким изменениям.

Как видите, условия сформулированы не жестко, соответствие им нельзя оценить одним взглядом. Добиться их выполнения на практике довольно тяжело. Проблема с оценкой адекватности модели окончательно не решена ни в одной школе моделирования. В системной динамике признают неточность самого понятия адекватности, поэтому и выдвигают качественные, а не количественные критерии. Но и их соблюсти трудно...

Самые серьезные проблемы в системной динамике возникают при взаимодействии разработчика модели с заказчиком. Это (по крайней мере отчасти) объясняет, почему системная динамика как метод вызывает споры и неприятие среди политиков и лиц, принимающих решение.

Прежде всего парадигма системной динамики требует, чтобы рассматривались продолжительный временной диапазон и широкие границы предметной области. Это само по себе уже не соотносится с привычками управленцев, поскольку они живут в мире краткосрочных стимулов и давления, действующих здесь и сейчас. В результате — тупиковая ситуация: заказчик не может понять, что разработчик смотрит на проблему более широко, а разработчик не видит иного пути решить проблему заказчика.

Если эту проблему удается преодолеть, возникает другая, связанная с формулировкой выводов. Специалисты по системной динамике предполагают, что большинство проблем, как и большинство элементов модели, имеет внутреннее происхождение. Они ищут (и часто находят) внутренние причины и факторы, ответственные за возникновение проблемы. Например, если разработчик исследует потерю компанией ее доли рынка, он изучит не только поведение потребителей и конкурентов, но и внутренние правила и связи в компании. Экономический застой в городе может быть вызван как действиями национальных и региональных властей, так и деятельностью местного руководства. Во многих случаях (хотя и не всегда) системно-динамическое исследование приведет к заключению о том, что проблема вызвана (как минимум частично и, скорее всего, непреднамеренно) самим заказчиком. Рекомендуемое решение чаще всего состоит в изменении структуры. Изменение может быть простым (например, нужно донести новую информацию для принятия решения), а может быть и сложным, включая пересмотр целей, структуры стимулов и вознаграждений, передел зон ответственности. Нет нужды пояснять, что такие рекомендации часто воспринимаются в штыки. Для политиков они могут быть просто неприемлемы. Корень проблемы кроется в основополагающей парадигме системной динамики и в природе принятия решений в политике.

Выводы. Взгляд специалиста по системной динамике на мир специфичен. Его внимание привлекают проблемы, которые можно описать в понятиях тенденций поведения или особенностей динамики системы. Исследуя новую проблему, специалисты ищут обратные связи, выделяют запасы и потоки, физические и информационные. Они готовы к тому, что элементы системы будут связаны друг с другом нелинейными зависимостями, обладающими к тому же запаздыванием по времени. Принципы, которые используются при создании модели, включают в себя представления о взаимосвязанности структуры обратных связей в системе и ее поведения. Особенно разработчиков моделей интересуют потенциальные ключевые точки в системе, виды

информации, доступные тем, кто принимает решения, а также ограничения и стимулы, влияющие на управленцев и на то, как они преобразуют принятую информацию в конкретные действия для изменения поведения системы.

Системно-динамические модели приносят наибольшую пользу, если необходимо добиться общего понимания или выработать стратегии и решения в обобщенных системах. Такие модели относительно просты, доступны для понимания, не детализированы сверх меры, снабжены соответствующей документацией. Их задача — отразить в общем контексте окружение проблемы, ее развитие в долговременном масштабе и предложить структурные изменения для ее решения.

2.3.2. Эконометрика

> Статистические модели, описывающие работу экономики, не следует воспринимать как волшебные заклинания, которые способны свести все секреты сложного реального мира в единое уравнение. Статистические модели пытаются предоставить как можно больше информации о будущем или о неизвестных явлениях на основе данных, накопленных за определенное время, и фактов, которые поддаются наблюдению и измерению. В той степени, в которой люди следуют прежним шаблонам поведения, статистические модели способны дать представление о количественных значениях экономических показателей в будущем… У экономистов, не использующих статистические методы, есть лишь качественная информация, чтобы выносить суждения на ее основе. Экономисты, владеющие статистикой, имеют в своем распоряжении и качественную информацию, и подробные количественные данные об исторически сложившихся схемах поведения[18].

Истоки эконометрики. Эконометрика использует для проверки и количественной оценки экономической теории статистические методы. Эконометрическая модель представляет собой теоретические взаимосвязи, которые были статистически оценены по данным о конкретной экономической системе, накопленным за прошлые периоды. Такую модель можно использовать для структурного анализа, разработки стратегии, прогнозирования.

Эконометрика зародилась на стыке двух классических дисциплин, экономики и статистики, поэтому она разделяет парадигмы и той, и другой, хотя и добавляет к ним специфическое, эконометристское ви́дение мира. Статистические методы стали применяться к экономическим задачам с 1930-х гг., когда возрос интерес к численным показателям в экономике разных стран. Особое внимание вызывало суммарное потребление, ведь именно на него возложили основную ответственность за Великую депрессию. Журнал «Эконометрика» издается с 1933 г. В конце 1930-х гг. Ян Тинберген создал первые динамические модели национальных экономик Голландии, США и Ве-

ликобритании[19]. Уже к 1950-м гг. было проведено много теоретических и практических исследований, а затем появление компьютера вызвало настоящий бум в разработке эконометрических моделей. Они стали применяться гораздо шире, а их сложность существенно возросла.

На сегодняшний день эконометрика — широко распространенный метод моделирования. По этой теме регулярно проходят конференции и круглые столы, выпускаются учебники, журналы, что свидетельствует о зрелости эконометрики как отдельной дисциплины[20]. Наилучшие результаты этот метод дает для краткосрочных прогнозов в национальной экономике[21]. Но существует довольно много эконометрических моделей и с другими задачами, как на микро-, так и на макроуровне, причем и теоретической, и сугубо практической направленности.

Примеры эконометрических моделей. Эконометрист, заинтересовавшийся рыночной системой вроде той, что была приведена в главе о системной динамике, мог бы построить как статическую, так и динамическую модель. Простая статическая модель спроса/предложения, например для сельскохозяйственной продукции, могла бы состоять всего лишь из трех уравнений[22]. Первым из них было бы уравнение, описывающее спрос:

$$D = \beta_{10} + \beta_{11}P + \beta_{12}Y + E_1$$

где D — величина спроса, P — цена, Y — доходы потребителя, а β_{10}, β_{11}, β_{12} — так называемые *структурные коэффициенты*. Параметр E_1 описывает вариации в наблюдаемых значениях спроса D, необъяснимые с позиций остальных параметров уравнения (возможные причины таких вариаций — случайные изменения в системе, отсутствующие и неучтенные факторы, измерительные ошибки). Такой *вектор ошибок* добавляется ко всем *поведенческим уравнениям*, т. е. любым уравнениям, описывающим решения, принимаемые человеком, или отклики, которые могут обладать хотя бы частичной неточностью или непредсказуемостью.

Второе уравнение, описывающее поставки, выглядело бы так:

$$S = \beta_{20} + \beta_{21}P + \beta_{22}Z + E_2$$

где S — величина предложения (объем поставки), P — цена, Z — годовое количество осадков, β_{20}, β_{21}, β_{22} — структурные коэффициенты, а E_2 — еще один вектор ошибок.

Третье уравнение описывает предположение о балансе спроса и предложения: на идеально работающем рынке количество поставленной продукции должно точно соответствовать спросу. В этом уравнении никакие поправки на ошибки не нужны, поскольку это тождество, оно по определению истинно и должно выполняться всегда.

$$D = S = Q$$

Обратите внимание: все три уравнения линейны и оперируют переменными, которые можно наблюдать непосредственно. Уравнения спроса и предложения по своей сути причинны, хотя это не выражено явным образом. Они не описывают предполагаемые движущие механизмы, ответственные за то, что спрос меняется в зависимости от цены и доходов, а предложение — в зависимости от цены и годового количества осадков. Подобные механизмы, разумеется, существуют в реальной жизни, но в модели они явно не отражены. Уравнения необратимы, их нельзя использовать для обратных расчетов доходов в зависимости от цены и спроса или количества осадков в зависимости от цены и предложения. Третье уравнение не причинное — это тождество: количество проданного должно равняться количеству купленного.

Приведенная модель достаточно проста. Ее можно решить аналитически для двух внутренних переменных (количества Q и цены P) через две внешних переменных (доходы Y и количество осадков Z).

$$P = 1/(\beta_{11} - \beta_{21}) \cdot (\beta_{20} - \beta_{10} + \beta_{22}Z - \beta_{12}Y + E_2 - E_1)$$
$$Q = 1/(\beta_{11} - \beta_{21}) \cdot (\beta_{20}\beta_{11} - \beta_{21}\beta_{10} + \beta_{22}\beta_{11}Z - \beta_{21}\beta_{12}Y + \beta_{11}E_2 - \beta_{21}E_1)$$

Описанную этими уравнениями систему можно представить графически (см. рис. 2.5). Двусторонние стрелки отражают предполагаемую взаимную одновременную зависимость между величинами S, D и P.

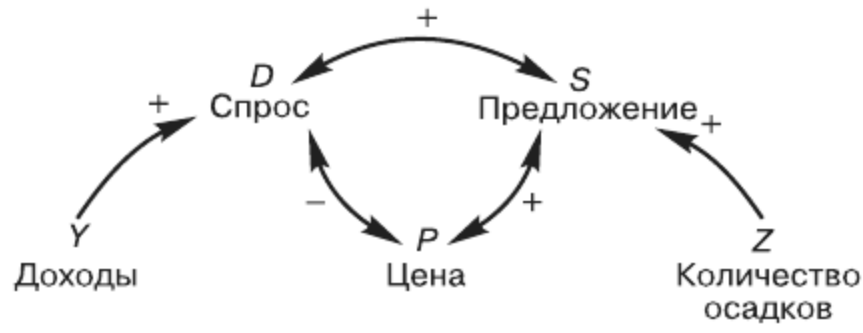


Рис. 2.5. Взаимосвязи в статической эконометрической модели рынка

Создав такую или подобную ей модель, эконометрист сравнит ее показатели с накопленными за прошлые периоды значениями P, Q, Z и Y. В его распоряжении есть статистические методы, позволяющие получить оценочные значения для всех коэффициентов β и посмотреть, насколько точно они объясняют полученные значения показателей в модели. Если набор рассчитанных коэффициентов позволяет модели хорошо соответствовать наблюдениям за реальной системой, то она подтверждает свою пригодность и может быть использована для поиска рыночной точки равновесия при любом сочетании количества осадков и доходов. Также ее можно использовать для предсказания цены и объемов предложения на следующий год, если исходить из предполагаемых будущих доходов и количества осадков. Отдельно

взятые структурные коэффициенты тоже по-своему содержательны. Например, коэффициент β_{12}, характеризующий эластичность спроса по доходу, фактически описывает, как изменится спрос потребителей при росте их доходов, если цена останется прежней. Поскольку модель статическая, она не дает никакой информации о том, каким путем идти рынку, чтобы достичь равновесия.

Динамическая эконометрическая модель для рынка сельскохозяйственной продукции может состоять из других трех уравнений[23].

$$S_t = \beta_1 P_{t-1} + E_1$$

Предложение в любой момент времени t считается линейной функцией от цены за предшествующий год. (Временной интервал $t - 1 \rightarrow t$ в эконометрических моделях обычно представляет собой один расчетный период — например, год или квартал, в отличие от системной динамики, где интервалы обычно гораздо меньше.)

$$D_t = \beta_2 P_t + \beta_3 Y_t + E_2$$

Спрос рассчитывается как линейная зависимость от цены и доходов за текущий год.

$$P_t = \beta_4 (D_{t-1} - S_t) + \beta_5 Y_t + E_3$$

Предполагается, что цену устанавливают производители продукции на основе ожиданий того, насколько спрос будет превышать предложение. Ожидания прогнозируются по оценке предложения на текущий год, исходя из предположения о том, что спрос в нем будет такой же, как и в предшествующем. Добавлен параметр доходов, поскольку считается, что средние доходы связаны с расходами на производство (на рабочую силу). Третье выражение теперь тоже представляет собой поведенческое уравнение с вектором ошибок.

Все уравнения в этой модели носят причинный (хотя и косвенный) характер; их можно отображать односторонними стрелками, как показано на рис. 2.6. Модель состоит из двух отрицательных петель обратной связи. Системно-динамическая модель той же системы выглядела бы точно так же.

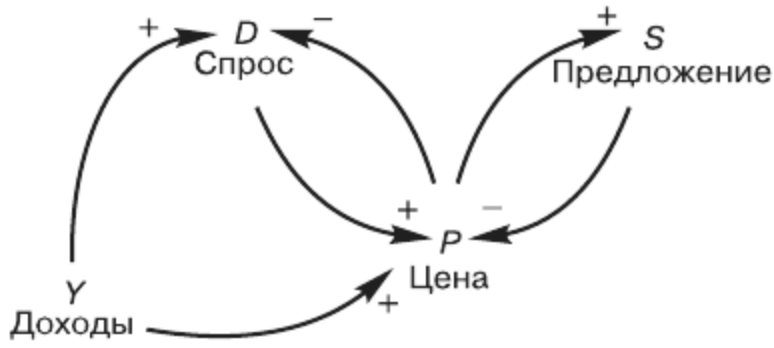


Рис. 2.6. Взаимосвязи в динамической эконометрической модели рынка

Эта модель уже слишком сложна для того, чтобы ее можно было решить аналитически, но ее можно численно просчитать по времени. Структурные коэффициенты определяются по данным, накопленным за прошлые периоды. В систему вводятся начальные значения P и D, а также предполагаемые изменения со временем внешней переменной Y, и модель выдает динамические изменения цены, предложения и спроса. Пример расчетов по модели такого типа, примененной для оценки рынка репчатого лука в США в 1930—1950 гг., показан на рис. 2.7. Довольно резкие годовые скачки объясняются принятым годичным периодом расчета для предложения и цены. В этой динамической модели не использовалось предположение о рыночном равновесии: во все периоды предложение совсем необязательно было равно спросу. И в модели нет явного указания на то, что не проданная за этот период продукция или неудовлетворенный спрос переносятся на следующий период.

Все простые модели, описанные в этой главе, можно доработать: включить дополнительные переменные в поведенческие уравнения, добавить нелинейные взаимосвязи, перевести некоторые из внешних переменных в число внутренних. Эконометрические модели нацио-



Рис. 2.7. Результат эконометрического имитационного моделирования рынка сельскохозяйственной продукции: *а*) предложение репчатого лука; *б*) спрос на репчатый лук; *в*) цена на репчатый лук. Данные воспроизводятся с разрешения Г. Стойковича по изданию: *Wold O.A.* (ред.). Econometric Model Building. Amsterdam: North Holland Publishing Co. 1964. С. 400—401

нальной экономики разных стран могут представлять собой довольно сложные системы, содержащие сотни уравнений.

Особенности эконометрики. Основная особенность эконометрической теории — упор на проверку структуры и параметров модели статистическими методами. Ее парадигма вынуждает эконометристов жестко привязывать модель к численным наблюдениям, накопленным в реальном мире. Создание эконометрической модели можно разделить на два этапа: *детальная проработка структуры* на основе положений экономической теории и *численная оценка параметров*, которая выполняется с помощью статистического анализа накопленных данных. Второму этапу уделяется наибольшее внимание, он занимает львиную долю времени при моделировании, а его описанию посвящена бóльшая часть разделов в учебниках и журналах по эконометрике. Математические правила и требования к данным для этапа оценки накладывают свой отпечаток и на стадию проработки структуры.

Информационная основа, на которой эконометристы возводят структуру своей модели, ничем не отличается от той, что использует системная динамика или любая другая методика моделирования — это и упрощения, и личный опыт, и интуитивные озарения, и статистические данные, и здравый смысл, и эксперименты, и даже догадки. На практике большинство эконометристов с головой уходят в оценку экономических переменных и показателей. Большинство необходимых понятий они находят в традиционной экономической теории. Идеи из других дисциплин используются неохотно, только при крайней необходимости, и даже в этом случае уклон идет в сторону социальных наук, в то время как специалисты по системной динамике больше тяготеют к естественнонаучным дисциплинам.

В эконометрических моделях не проводят различий между информационными и физическими потоками. Так, большинство обычных переменных, встречающихся в эконометрических моделях, выражены в денежных единицах. Это касается и уровней, и потоков, причем даже тех, которые имеют физический смысл (объемы производства, потребления, величина капитала, инвестиции, амортизация, объемы импорта и экспорта).

Экономическая теория, из которой эконометрика выросла как отдельное направление, глубоко прорабатывает статические вопросы, уделяя динамическим гораздо меньше внимания. Возможно, потому, что теория в основных чертах создавалась в тот период, когда компьютеров еще не было, — имитационные методы появились гораздо позже, и только тогда стал возможен динамический анализ сложных нелинейных систем. Классическая экономическая теория очень много внимания посвящает поиску в системе точек равновесия, оптимума, при этом почти ничего не говоря о пути, которым можно прийти к равновесию, или о времени, которое для этого потребуется. Теорем,

рассматривающих динамическое поведение на протяжении длительного промежутка времени, относительно мало, зато существует ряд методик, правил, графов и понятий, относящихся к сравнительному статическому анализу (либо с динамической последовательностью от одного равновесия или оптимума до другого).

Экономическая теория заставляет разработчиков эконометрических моделей создавать частично открытые структуры, управляемые большим количеством внешних переменных, вместо того чтобы сделать модель замкнутой, содержащей петли обратных связей. Экономика развивалась на основе незамкнутых, открытых систем по ряду причин. Экономическими системами практически всегда управляют силы, находящиеся за границами этой дисциплинарной области: используемые ресурсы изучает геология; изменения погоды — метеорология; потребительские привычки и поведение — психология и социология; воспроизведение и доступность рабочей силы — демография... Из-за того что многие экономические проблемы сфокусированы на относительно краткосрочной перспективе, разработчику часто нет никакого смысла замыкать обратные связи в петлю, поскольку временны́е запаздывания он в расчет не принимает.

Когда в экономической теории появляется двусторонняя причинность или обратная связь, ее часто отражают с помощью системы уравнений. Создание системы уравнений эквивалентно предположению, что обратные связи полностью «отработают» за один цикл расчетов. Это предположение справедливо, если цикл расчетов достаточно продолжителен в сравнении со временем, необходимым для достижения равновесия. В эконометрических моделях так бывает довольно часто — их циклы чаще всего соответствуют интервалам, с которыми агентства по сбору данных публикуют накопленную информацию. Обычно такой период равен одному году. Использование систем уравнений только усиливает тягу эконометрических моделей к открытым структурам. Чтобы решить систему уравнений или *определить* все структурные коэффициенты в модели, эконометрист должен задействовать довольно большое количество внешних переменных.

Хотя львиная доля динамических эконометрических моделей построена на системах уравнений, они иногда также содержат некоторые обратные связи, реализуемые через внутренние переменные с запаздыванием. Порой они выглядят почти так же, как в системной динамике. Математическое различие между методами заключается в расстановке акцентов. Эконометрические модели, как уже говорилось, иногда содержат обратные связи, некоторые из них имеют запаздывания; системно-динамические модели практически полностью построены на обратных связях, причем все они имеют запаздывания, хотя и разные по продолжительности.

И даже если все внешние переменные находятся внутри дисциплинарной области, относящейся к экономике, все равно та часть из них, которая может быть включена в эконометрические модели, очень ограничена, поскольку для этого параметры должны быть проверяемы опытным путем. Каждый элемент эконометрической модели должен допускать прямое наблюдение, и по нему должны быть накоплены достаточно подробные данные за прошедшие периоды, чтобы можно было провести статистическую обработку зависимостей от других переменных. Подобные требования не позволяют включать в модель информационные составляющие любой системы, в особенности мотивационные факторы, лежащие в основе человеческого поведения и принятия решений. Мотивы и стимулы не совсем исключены из экономической теории — она использует некоторые не поддающиеся прямому наблюдению понятия, например, предельную полезность, кривые безразличия потребителя, стимулы к получению прибыли и др. Однако ни одно из них нельзя непосредственно измерить или включить в качестве объясняющей переменной в эконометрическую модель.

Тем не менее требование наблюдаемости вовсе не так сильно связывает руки эконометристам, как полагают специалисты по системной динамике. В долговременной перспективе это приводит к улучшению сбора данных об экономическом поведении по всему миру, увеличению их объемов и подробности. Полезные, хотя и не измеряемые явно понятия в какой-то момент могут стать достаточно четко определенными, чтобы их можно было рассчитать и включить в базы данных. В свое время никто слыхом не слыхивал о валовом национальном продукте (ВНП) — сначала экономисты придумали такое понятие, сочли его полезным, и лишь затем нашли способы для его измерения.

Эконометристы также могут отражать не поддающиеся наблюдению параметры через показатели-заменители, тесно с ними связанные или приближающиеся к ним. Например, одним из параметров для оценки развития общества может быть уровень грамотности. В качестве показателя, характеризующего влияние погоды на производство зерновых, можно использовать количество осадков. Чтобы отразить некоторые предположения об ощущениях потребителей, формирующих спрос на продукцию, можно задействовать денежный показатель — расходы на рекламу. Другими словами, эконометрист может выразить прямую причинно-следственную гипотезу («на ранних стадиях развития общества возрастает стремление к материальному благосостоянию, поэтому на какое-то время потребление снижается, чтобы его можно было увеличить в будущем») в косвенную гипотезу, построенную на коррелирующих переменных, доступных для наблюдения («при низких уровнях доходов грамотность связана обратной зависимостью с уровнем потребления и прямой зависимостью с величиной накоплений»). Использование таких показателей-заменителей

вместо причинно связанных переменных позволяет эконометристам обойти ограничение по проверяемости параметров на практике. Правда, за это приходится расплачиваться тем, что проверять нужно уже двойной набор предположений: взаимосвязь не только между уровнями развития и потребления, но и между уровнем развития и его заменителем, уровнем грамотности. Придется на основе накопленных данных подтверждать, что обе зависимости существовали на протяжении долгого времени, существуют сейчас и, вероятно, продолжат существовать в обозримом будущем. Корреляционные зависимости не всегда определяются легко, к тому же они могут меняться со временем, поэтому их постоянно необходимо перепроверять, используя для этого актуальные данные о реальном мире.

Чтобы получить параметры для эконометрической модели, чаще всего используют метод наименьших квадратов: он позволяет получить набор численных величин, которые обеспечивают заявленным зависимостям наилучшее* соответствие накопленным данным, причем меру этого соответствия можно оценить численно. Теоретические и математические предпосылки такого метода требуют, чтобы каждое поведенческое уравнение можно было преобразовать в вид, в котором все параметры линейны. По этой причине большинство зависимостей в эконометрических моделях носит линейный или логарифмически-линейный характер. Так, предполагаемую связь между уровнями грамотности и потребления можно было бы выразить следующим образом:

$$\text{Потребление} = \beta_0 + \beta_1(\text{Грамотность}) + E$$

либо так:

$$\text{Log}(\text{Потребление}) = \beta_0 + \beta_1(\text{Грамотность}) + E$$

где β_0 и β_1 — константы, которые необходимо определить по накопленным данным о потреблении и грамотности.

Чтобы метод наименьших квадратов обеспечивал максимальную точность, необходимо, чтобы отклонения каждой объясняющей переменной не были линейно зависимы от отклонений любой другой переменной и были строго независимы от вектора ошибок. Например, если мы предположили, что потребление зависит от уровня грамотности и доходов ($\text{Потребление} = \beta_0 + \beta_1(\text{Грамотность}) + \beta_2(\text{Доходы}) + E$), то статистическая методика для определения величин β_0, β_1, β_2 сработает только в том случае, если нет ярко выраженной корреляции между доходами и грамотностью, а также между доходами или грамотностью и любым из пропущенных факторов, который может повлиять на вектор ошибок E.

---

* «Наилучшее» в данном случае означает, что сумма квадратов по всем отклонениям расчетных данных от реальных значений минимальна.

Существуют и более сложные методы оценки, чем метод наименьших квадратов. Если их применять правильно, то можно преодолеть или обойти некоторые из наиболее ограничивающих положений метода наименьших квадратов. Специалисту, который хорошо разбирается в реальной системе и владеет всем инструментарием статистической обработки, не потребуется вносить изменения в детальную структуру системы только для того, чтобы потом сопоставить результаты модели с фактическими данными. Но если говорить о применении методов на практике, то чаще всего используется именно метод наименьших квадратов.

Структурные коэффициенты в уравнениях, подобных тому, что описывает связь грамотности и потребления, определяются на основе наблюдаемых значений по всем переменным за какой-либо исторический период либо одновременно по так называемому «срезу», пересечениям различных подсистем (для семей, народностей, компаний и т. д.). Затем модель с оцененными параметрами используется для имитационных расчетов за какой-то другой период или по какому-то другому срезу. Процедура основана на предположении о том, что заложенный в модель причинно-следственный механизм не изменится ни по форме, ни по значимости, ни по фактору случайности, т. е. что в прогнозируемый период он будет точно таким же, каким был при проведении оценки. Либо при изучении других срезов он будет таким же, каким был при изучении первого из них.

Эконометрические модели стремятся работать с тесно сгруппированными численными величинами — даже теснее, чем это характерно для системно-динамических моделей. Обычно эконометрические модели невелики в сравнении с моделями других типов.

Основные направления использования эконометрики. Как мы уже говорили, эконометрические модели представляют системы в линейном виде, частично открытыми (незамкнутыми), в состоянии равновесия или около него, причем переменные, включенные в модель, практически всегда относятся только к сфере экономики, не затрагивая другие предметные области. В реальном мире с такой парадигмой лучше всего соотносятся системы, оперирующие экономическими товарами и услугами, финансовыми потоками и ценами в довольно ограниченной, краткосрочной перспективе. Многие важные факторы в таких системах действительно носят внешний характер, а многие взаимосвязи ограничены диапазонами, в которых они и вправду практически линейны. Кроме того, в краткосрочном масштабе численные коэффициенты, выведенные на основе накопленных данных за прошлые периоды, скорее всего, обоснованны и достоверны. Если собраны достаточно подробные данные, эконометрические методы могут дать точную информацию о подобных системах. Таким образом, эконометрические модели лучше всего подходят для точного краткосроч-

ного прогнозирования общих экономических показателей. Их едва ли можно применять для общего понимания (особенно если система затрагивает междисциплинарные области), долгосрочного прогнозирования и в таких условиях, которые на протяжении прошлых периодов не наблюдались и потому не подкреплены фактическими данными.

Вот несколько примеров вопросов, которыми задавались эконометрические исследования, проведенные ради выработки стратегии.

Усугубит ли ситуацию с нехваткой собственного природного газа в период с 1975 по 1985 г. изменение квот на импорт нефти в США? Если да, то какие цены на добываемый природный газ позволят смягчить положение?[24]

Как повлияет на экономический рост в США в период 1974—2000 гг. увеличение или уменьшение государственных расходов, ускорение или замедление роста численности населения, поддержание или замедление технического прогресса?[25]

Каким будет среднеквартальный индекс потребительских цен на продукты питания в ближайшие четыре квартала?[26]

Какие площади в США будут засеяны пшеницей в следующем году, если государственные земельные ограничения и программы займов изменятся тем или иным образом?[27]

Как решения Федеральной резервной системы по финансовому и кредитно-денежному контролю повлияют на макроэкономику США в ближайшие несколько лет?[28]

Большинство подобных вопросов относятся к стадии проработки стратегии или к этапам реализации принятых решений.

Проблемы и ограничения эконометрики. Самая сильная сторона эконометрической парадигмы состоит в том, что она настаивает на непрерывной, строгой проверке теоретических гипотез и их сопоставлении с данными о реальной системе. Однако у медали есть и обратная сторона, и ведет она к двум сложностям: используемые для оценки статистические методы влияют на изначальное формирование модели, а данные, доступные для проверки, не всегда достаточны.

Математические требования к оценке параметров, особенно метод наименьших квадратов, накладывают на эконометрические модели структурные ограничения. В результате модели отражают мир не так, как это делает экономическая теория, и не так, как это принято в других школах моделирования. Эконометрические модели тяготеют к линейным зависимостям, системам уравнений, увязывающим между собой наблюдаемые экономические показатели через коэффициенты, полученные по накопленным данным о работе системы в прошлые

периоды. Экономическая теория, между тем, признает, что экономические взаимосвязи могут быть нелинейными, иметь большие запаздывания, зависеть от не наблюдаемых непосредственно целей и стимулов. К тому же система может проявлять поведение, ранее никогда не наблюдавшееся и не описанное никакими фактическими данными. Кроме того, эконометрические модели обычно не настолько подробны и всеобъемлющи, как экономические теории, поскольку сказывается неявное стремление исследователей избегать ковариации — возможной линейной зависимости между объясняющими переменными или между любой из них и вектором ошибок:

> «Мы можем оценить с приемлемой точностью лишь некоторые из существующего огромного количества взаимосвязей между различными экономическими переменными. В этом и состоит принципиальная разница между экономической теорией и практическим исследованием. Теория полна и всеобъемлюща. Если мы перечислим определяющие факторы потребления или инвестирования — их варианты, годами обсуждавшиеся экономистами, — то без труда обнаружим с десяток разновидностей, а то и два. Однако в эконометрическом исследовании мы едва ли отважимся на то, чтобы оценить больше четырех или пяти коэффициентов»[29].

Существуют области, в которых достаточно узкая сфера эконометрики перекрывает широкий и сложный сектор реальных социальных систем. Здесь эконометрические методы могут дать точные, достоверные, содержательные и очень полезные прогнозы. Ключевая проблема эконометрического моделирования состоит в том, чтобы признать ограниченность его применения и устоять перед искушением выйти за эти границы. Опытные эконометристы это знают и постоянно следят за тем, чтобы не выходить за пределы применимости метода:

> «Так для чего же эконометрика... подходит лучше всего? С моей точки зрения, в первую очередь это решение экономических проблем предприятий.... Проблемы, с которыми сталкиваются компании, гораздо менее сложные, чем те, что стоят перед экономикой в целом. Чаще всего они носят частный характер. Кроме того, количество наблюдений за одной и той же социальной системой часто можно увеличить. Мы не должны сталкиваться с ситуацией, когда необходимо получить большое количество данных о мире, который быстро меняется прямо во время сбора этих данных. Наконец, многие экономические модели создаются ради планирования, это их первостепенная задача. В компании всегда понятно, в чем заключается предмет планирования. В экономике в целом движущая сила действий... может быть замаскирована неточными представлениями, которые далеко не всегда удается исключить за счет применения совершенных математических методов.
>
> Стоит ли использовать эконометрику для макроэкономических целей? Ее пытаются применить в первую очередь именно для этого, возможно,

в результате извечной человеческой манеры выбирать самую неподходящую цель... Я бы сказал, что ее можно использовать для проверки того, какая из огромного разнообразия экономических гипотез может лучше всего объяснить экономическую реальность в данное время и в данном месте»[30].

Что точно не входит в пределы эконометрического моделирования, так это разработка условий или стратегий, которые существенно отличаются от тех, что наблюдались в прошлые периоды, когда шел сбор данных. Псевдо-причинные взаимосвязи в эконометрической системе могут быть довольно похожими на реальную систему, чтобы показать, как неизмененная или лишь слегка измененная система может повести себя в ближайшем будущем. Но они слишком тесно увязаны с прошлым поведением, чтобы правильно отражать отклик системы на совершенно новые внешние условия, не наблюдавшиеся ранее.

Практически любой эконометрист скажет, что самую большую проблему для его работы представляет нехватка хороших эмпирических данных. Исследователи-эконометристы уделяют большое внимание проблемам, связанным с данными, — у часто встречающихся из них даже есть собственные названия и деление на категории:

«Среди наиболее важных проблем можно назвать: элементарную нехватку данных (*проблема степеней свободы*); стремление данных к подразделению на группы (*проблема мультиколлинеарности*); медленные изменения в системе и слишком большую схожесть данных, относящихся к соседним периодам (*проблема корреляции внутри ряда*); резкие скачки и изменения в реальном мире, словно данные относятся к разным выборкам и системам (*проблема структурных изменений*); многочисленные отклонения и неточности в оценке экономических показателей (*проблема погрешностей измерения*)»[31].

Эконометрические методы включают в себя несколько изящных способов обойти сложности с данными и извлечь максимум полезной информации из доступных наблюдений о реальном мире. К сожалению, ни один из этих способов не позволит получить больше информации, чем есть на самом деле, и в результате избавление от одной проблемы обернется возникновением другой, еще более серьезной:

«Например, замена годичных данных ежеквартальными увеличивает количество точек измерения, однако усугубляет проблему с мультиколлинеарностью и корреляцией внутри ряда; исключение из рассмотрения данных, относящихся к нетипичным периодам (например, за годы войны), позволяет преодолеть проблему структурного изменения, но ухудшает положение со степенями свободы и мультиколлинеарностью; замена переменных их первыми разностями устраняет проблему корреляции внутри ряда, но увеличивает погрешность измерений»[32].

Неточные и неполные данные существенно сужают область применимости и уменьшают полезность эконометрических моделей для изучения промышленно неразвитых стран, где проблема со сбором данных стоит особенно остро:

> «Все типы моделей, которые мы рассматривали, создавались специально для конкретной страны; они в обязательном порядке опираются на данные, полученные за определенный период. Обычно данные доступны лишь за один год или максимум за несколько лет. Даже когда они есть, их точность и надежность вызывают большие сомнения. Последовательные данные набраны только за очень короткие периоды; практически все переменные либо растут, либо уменьшаются даже за очень малые промежутки времени; в результате любая попытка включить все важные независимые переменные в уравнения заведомо приводит к быстрому исчерпанию всех степеней свободы, в системе господствуют коллинеарности. По этим и другим причинам весьма вероятно, что модели и их уравнения страдают от недостаточной определенности либо вообще определены неправильно. Более того, во многих случаях ничем не поможет ни экономическая теория, ни механическое применение методов статистической обработки, ни попытка призвать на помощь интуицию. Любое из этих возражений само по себе достаточно для того, чтобы макромодели никто не принимал всерьез, вместе же они наносят сокрушительный удар, от которого невозможно оправиться»[33].

Эконометристы сами довольно часто говорят, что в их сфере многие модели выполнены плохо. Частично это можно объяснить тем, что эконометрика используется широко, а очень удобное компьютерное программное обеспечение распространено и доступно. Это та же палка о двух концах, которую мы описывали применительно к системной динамике, и она еще не раз встретится нам при описании других методов моделирования. В случае с эконометрикой статистические программные пакеты, которые сейчас есть в большинстве компьютерных центров, достаточно просты в использовании, чтобы их мог применить любой более или менее подготовленный специалист — даже тот, кто никогда не понимал или уже успел напрочь забыть требования и ограничения в применении методов регрессии (в том числе метода наименьших квадратов). Вместо бездумного использования статистических методов стоило бы опираться на опыт изучения реальных систем, знание экономической теории и внимательное формулирование выводов. Ленивые, невнимательные, безграмотные разработчики маскируют низкое качество своих моделей за обширностью компьютерных баз данных и якобы статистическими выводами. Порой для оценки параметров и проверки достоверности системы берут и используют одни и те же данные! Причинность иногда путают с корреляцией. Этих проблем вполне можно избежать: нужно лучше обучать разработчиков, наладить саморегулирование в профессиональной сфере

эконометрики, а главное, постоянно подвергать проверке и оценке результаты эконометрического моделирования, причем в обсуждении должны участвовать и разработчики, и заказчики, и те, кто финансирует работу.

Поскольку эконометрические модели частично незамкнуты, они более чувствительны к точности задания параметров, чем системно-динамические модели. Принципиальная разница в чувствительности дополнительно усиливается из-за того, что эконометристы обычно стремятся к более жестким и узким формулировкам о будущем, чем специалисты по системной динамике. Напрашивается вывод о том, что главной заботой эконометристов должен быть анализ чувствительности. Однако методы проверки на чувствительность и форма представления результатов вообще никак не формализованы, в документации на модели в обязательном порядке не приводятся, хотя при использовании многочисленных внешних переменных и при изучении альтернативных прогнозов в этом есть насущная необходимость. Проверить все возможные значения внешних переменных и их сочетания физически невозможно, а интуитивные способы поиска ключевых точек в структуре модели, которые используют специалисты по системной динамике, к эконометрическим моделям не очень подходят. В итоге проверка чувствительности остается в эконометрике нерешенной проблемой.

Сами эконометристы определяют достоверность своих моделей с помощью статистических тестов, сопоставляя результаты, выданные моделью, с реальными значениями, либо проводя нестрогое сравнение результатов модели с собственными мысленными моделями и представлениями о «правдоподобных» экономических показателях. Такие методы проверки, пожалуй, не хуже любых других, если статистическая оценка проводится честно и на профессиональном уровне, а разработчик имеет хорошее представление о том, что происходит в реальной экономике. Но не очень профессиональный, не очень знающий и не очень честный разработчик может соорудить доказательства достоверности практически для любой модели. В результате, несмотря на то что эконометрика использует ряд сложных статистических методов для проверки достоверности модели, на самом деле убедиться в правильности и обоснованности результатов модели очень трудно. В этом отношении эконометрика ничем не лучше других школ моделирования.

Выводы. Если специалисты по системной динамике представляют себе мир как совокупность взаимодействующих петель обратной связи, то эконометристы видят его как набор экономических показателей, сведенных в статистические базы данных. Они мыслят системами уравнений, линейными зависимостями, понятиями внешних движущих сил и переменных. Для них важны наблюдаемые финансовые потоки, а не информационные, которые не поддаются прямому

наблюдению. Эконометристы используют тщательно собранные данные за прошлые периоды, чтобы определить параметры модели и проверить гипотезы. Достоверность модели оценивается частично по результатам статистической обработки, частично по согласованности оцененных коэффициентов и рассчитанных значений на основе экономической теории и собственных интуитивных представлений.

Предположения, на которых основаны эконометрические модели, лучше всего подходят для изучения систем, вписывающихся в традиционные границы экономики как предметной области и находящиеся в условиях, не сильно отличающихся от того, что наблюдалось в прошлом. Цель большинства эконометрических моделей — точное прогнозирование экономических показателей в краткосрочной перспективе. На практике эконометрическое моделирование ограничено математическими требованиями к процедурам оценки, нехваткой и недостаточной точностью данных и, что характерно для большинства других школ моделирования, нерешенными вопросами об оценке чувствительности и достоверности модели.

2.3.3. Межотраслевой баланс

Экономическая теория стремится объяснить особенности человеческого общества и принятых в нем материальных отношений через взаимную зависимость таких переменных, как спрос и предложение или заработная плата и цены. Экономисты обычно строят свои исследования на относительно простых данных, показателях вроде валового национального продукта, учетных ставок, уровня цен и заработной платы. Однако в реальном мире все не так просто. Между скачком в оплате труда и влиянием, которое он в итоге оказывает на цены, лежит последовательность взаимодействий, в которых живые люди обмениваются существующими товарами и услугами. Все эти промежуточные звенья в цепи редко включаются в классическое описание взаимосвязи между двумя переменными. Разумеется, происходит огромное количество отдельных актов обмена. Их очень много; провести детальное наблюдение и дать описание каждому событию невозможно, так же как нельзя уследить за отдельными атомами и молекулами в физике. Однако можно навести некое подобие порядка, классифицировав и разбив частицы на группы. Именно такой подход использует метод межотраслевого баланса, известный также под названием «затраты-выпуск». В нем факты, описывающие любую реальную ситуацию, оцениваются с позиций экономической теории.

Истоки метода «затраты-выпуск». Метод, который можно считать прообразом межотраслевого баланса, появился в 1758 г., когда Франсуа Кенэ, французский экономист, составил свою «Экономическую таблицу» — в ней отражалась взаимная зависимость различных видов производительной деятельности на ферме[35]. Исходная идея

развивалась и дорабатывалась примерно 200 лет благодаря вкладам француза Леона Вальраса, итальянца Вильфредо Парето и других, пока Василий Леонтьев, американский экономист российского происхождения, не опубликовал в 1936 г. работу, в которой заложил основы современного метода анализа «затраты-выпуск»[36]. Первую официальную таблицу по затратам и выпуску в экономике США составило в 1947 г. Бюро трудовой статистики. К 1963 г. минимум 40 стран сформировали собственные таблицы межотраслевого баланса, а в 1980-е гг. существовало уже более 300 таблиц для 80 стран мира[37]. Таблицы межотраслевого баланса широко применяются при планировании национальной экономики в государствах, использующих плановую систему, и для составления прогнозов и анализа стратегий развития в странах с рыночной экономикой. Хотя метод «затраты-выпуск» уходит корнями в экономическую теорию, основан на ее парадигме и изначально был предназначен для учета финансовых и товарных потоков между отраслями промышленности, тем не менее в последнее время область его применения расширилась и теперь включает в себя и другие потоки — например, энергии и загрязняющих веществ[38].

Пример модели межотраслевого баланса. Анализ по методу «затраты-выпуск» начинается с набора данных, описывающих потоки денежных средств или товаров в различных секторах экономики и отраслях промышленности за определенный год. Потоки сводятся в таблицу, учитывающую затраты и выпуск — фактически, это просто массивы данных о заказах, сделанных той или иной отраслью (затраты), и продажах продукции в ней же (выпуск). Таким образом описываются все отрасли по всей экономике. Элементарный пример гипотетической двухсекторной экономики приведен в табл. 2.2[39].

Таблица 2.2

Пример таблицы, построенной по методу «затраты-выпуск»

Из отрасли	В отрасль			
	Сельскохозяйственное предприятие	Ткацкое производство	Спрос конечных заказчиков	Суммарный выпуск
Сельскохозяйственное предприятие	25	20	55	100 центнеров пшеницы
Ткацкое производство	14	6	30	50 м ткани

В таблице указано, что сельскохозяйственное предприятие в нашей гипотетической двухсекторной экономике произвело в данный год 100 центнеров пшеницы, из которых 25 центнеров были использованы самим предприятием, 20 были проданы ткацкому производству, а 55 были проданы конечным заказчикам (частным домохозяйствам).

Вторая строка данных в таблице показывает, как была распределена продукция ткацкого производства: из произведенных 50 м ткани 14 м были проданы сельскохозяйственному предприятию, 6 м использованы на собственные нужды, а 30 м приобрели частные домохозяйства. Если читать таблицу не по строкам, а по столбцам, то мы получаем полное представление о том, какую продукцию потребил (что затратил) каждый сектор за год. Для выработки 50 м ткани производству потребовалось затратить 20 центнеров зерна, приобретенного у сельскохозяйственного предприятия, и 6 м собственной продукции.

Разумеется, реальные таблицы затрат и выпуска для всей экономики страны содержат гораздо больше секторов — вероятно, сотни. Единицы измерения для затрат и выпуска, как правило, используются денежные, поскольку это позволяет просуммировать потоки, поступающие в каждый сектор экономики и исходящие из него, в соответствующей валюте. Пример более сложной таблицы (тоже для гипотетической экономики) приведен на с. 91 (см. табл. 2.3). В нем экономика подразделена на 6 секторов, они обозначены по алфавиту от *A* до *F*. Затраты и выпуск по каждому из 6 секторов показаны в той части таблицы, что размещена в левом верхнем углу; единицы измерения — миллиарды долларов. Так, сектор *A* использовал собственной продукции на 10 млрд долл., продал своей продукции сектору *B* на 15 млрд долл., сектору *C* на 1 млрд долл. и т. д. В этой таблице, более подробной в сравнении с предыдущим примером, вместо одного столбца спроса конечных заказчиков приведено несколько конечных потребителей (столбцы 7—11): пополнение склада, экспорт, государственный заказ, пополнение заводского производства и, наконец, частные потребители, использующие продукцию для нужд собственных домохозяйств. Сектор *A* направил на пополнение складов товара на 2 млрд долл., пустил на экспорт продукции на 5 млрд долл., выполнил государственных заказов на 1 млрд долл. и т. д.

Если изучать данные в таблице по столбцам, то мы получим представление обо всех затратах соответствующего сектора экономики. Так, сектор *C* приобрел продукции сектора *A* на 1 млрд долл., сектора *B* на 7 млрд долл., а также использовал собственной продукции на 8 млрд долл. Сектор *C* также отозвал со склада товаров на 1 млрд долл., импортировал продукции из-за границы на 3 млрд долл., уплатил 2 млрд долл. в государственную казну в виде налогов, списал 1 млрд долл. собственного капитала на амортизацию и выплатил 7 млрд долл. частным домохозяйствам в виде заработной платы.

Если бы метод «затраты-выпуск» тем и ограничивался, то он представлял бы собой лишь удобный способ представления информации о сложных взаимозависимостях между многими отраслями и секторами экономики за какой-то определенный год. Однако на самом деле сведение всей информации в таблицу — лишь начало. Следующим

Таблица 2.3

Межотраслевой баланс для экономики, состоящей из 6 секторов

		Сектор обработки						*Конечное потребление*					
		Выпуск*											
	Затраты**	(1) *A*	(2) *B*	(3) *C*	(4) *D*	(5) *E*	(6) *F*	(7) Суммарное пополнение склада (+)	(8) Экспорт	(9) Государственный заказ	(10) Суммарное инвестирование в частный капитал	(11) Частные домохозяйства	(12) Суммарный выпуск
Сектор обработки	(1) Сектор *A*	10	15	1	2	5	6	2	5	1	3	14	64
	(2) Сектор *B*	5	4	7	1	3	8	1	6	3	4	17	59
	(3) Сектор *C*	7	2	8	1	5	3	2	3	1	3	5	40
	(4) Сектор *D*	11	1	2	8	6	4	0	0	1	2	4	39
	(5) Сектор *E*	4	0	1	14	3	2	1	2	1	3	9	40
	(6) Сектор *F*	2	6	7	6	2	6	2	4	2	1	8	46
Промышленное производство													
Сектор платежей	(7) Суммарный отзыв со склада (–)	1	2	1	0	2	1	0	1	0	0	0	8
	(8) Импорт	2	1	3	0	3	2	0	0	0	0	2	13
	(9) Платежи государству	2	3	2	2	1	2	3	2	1	2	12	32
	(10) Списание на амортизацию	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	5
	(11) Частные домохозяйства	19	23	7	5	9	12	1	0	8	0	1	85
	(12) Совокупные затраты	64	59	40	39	40	46	12	23	18	18	72	431

* *Продажи отраслям и секторам, перечисленным в верхней строке таблицы, от отраслей, перечисленных в первом столбце, в левой части таблицы.*

** *Заказы у отраслей и секторов, перечисленных в левой части таблицы, сделанные секторами, перечисленными в первой строке, в заголовке каждого столбца.*

Таблица приводится по разрешению автора издания: Miernyk W.H. The Elements of Input-Output Analysis. New York: Random House, 1967. C. 9.

шагом будет предположение о том, что данные таблицы представляют собой часть непрерывной линейной зависимости между затратами и выпуском для каждого сектора. Если вернуться к первому примеру простой двухсекторной модели, то из наблюдения о том, что 100 центнеров пшеницы были произведены за счет затрат в размере 14 м ткани и других 25 центнеров пшеницы, можно заключить, что при любом объеме производства зерна будет справедлива пропорция: каждый центнер зерна требует для производства вложений в размере 0,25

центнера зерна и 0,14 м ткани. Если принять такое предположение, то всю таблицу можно представить в долях и отношениях. Значения будут отражать величину затрат на выпуск единицы продукции (либо выпуск продукции на сумму в 1 долл., если таблица составлена в денежных единицах). Эта пропорция справедлива для любых объемов продукции. В новом виде таблица называется *структурной матрицей* экономики, а значения, в ней указанные, — *техническими коэффициентами*, определяющими линейные отношения между затратами и выпуском. Структурная матрица для нашего гипотетического примера двухсекторной экономики приведена в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Структурная матрица для двухсекторной экономики

Из отрасли	В отрасль	
	Сельскохозяйственное предприятие	Ткацкое производство
Сельскохозяйственное предприятие	0,25	0,40
Ткацкое производство	0,14	0,12

Такую матрицу можно использовать для того, чтобы определить прямые затраты сектора экономики, необходимые для получения любого гипотетического выпуска. Например, производство 10 м ткани потребует 4 центнеров пшеницы и 1,2 м ткани. Фактически для производства продукта расходуется определенное количество такого же продукта. Затраты на 10 м новой ткани составляют в нашем случае 1,2 м плюс та ткань, что была израсходована на получение 4 центнеров пшеницы ($4 \times 0{,}14 = 0{,}56$ м). В итоге не все 10 м произведенной ткани доступны для потребления конечными заказчиками. На самом деле каждый раз, когда конечным потребителям нужно на 1 м ткани больше, изготовителю приходится увеличить производство на величину, превышающую 1 м, поскольку часть продукции должна поступить на непосредственное производство, а еще часть — в соседний сектор на дополнительный выпуск пшеницы, необходимый для расширения производства ткани.

Чтобы просчитать эту замкнутую последовательность расходов, структурная матрица сначала сводится к эквивалентным уравнениям:

$$0{,}25W_t + 0{,}40C_t + W_c = W_t$$
$$0{,}14W_t + 0{,}12C_t + C_c = C_t$$

где W_t и C_t — суммарные количества произведенной пшеницы и ткани, а W_c и C_c — количества пшеницы и ткани, доставленные конечным потребителям.

Эти уравнения можно преобразовать в другой вид:

$$\left.\begin{aligned} W_t - 0{,}25W_t - 0{,}40C_t &= W_c \\ C_t - 0{,}12C_t - 0{,}14W_t &= C_c \end{aligned}\right\}$$

Перед нами система из двух уравнений с четырьмя неизвестными. Расчеты обычно ведутся по каким-либо значениям W_c и C_c, описывающим спрос конечных потребителей (частных домохозяйств) на пшеницу и ткань. Через них получают значения W_t и C_t — суммарные количества пшеницы и ткани, которые необходимо произвести, чтобы удовлетворить и потребности частных домохозяйств, и потребности самих производителей. В результате решение системы выглядит так:

$$\left.\begin{aligned} W_t &= 1{,}457W_c + 0{,}662C_c \\ C_t &= 0{,}232W_c + 1{,}242C_c \end{aligned}\right\}$$

Другими словами, чтобы произвести 1 центнер пшеницы для конечного потребителя, экономика должна обеспечить суммарное производство 1,457 центнеров зерна и 0,662 м ткани. Аналогичным образом для производства 1 м ткани для конечного потребителя нужно изготовить 1,242 м ткани и затратить 0,232 центнера пшеницы.

В более сложных системах, обсчитываемых с помощью межотраслевого баланса, используются точно такие же выкладки, но уже для X уравнений с X неизвестными. Для обращения матрицы в этом случае используется компьютер. В нашем случае результат в виде матрицы выглядит так:

$$\begin{pmatrix} 1{,}457 & 0{,}662 \\ 0{,}232 & 1{,}242 \end{pmatrix}$$

Точно такой же результат можно было бы получить при обращении матрицы, построенной на основе исходных данных:

$$\begin{pmatrix} 1-0{,}25 & -0{,}40 \\ -0{,}14 & 1-0{,}12 \end{pmatrix}$$

Обратная матрица, называемая также таблицей прямых и непрямых затрат, — основной инструмент межотраслевого баланса. Каждое значение в ней отражает совокупный (прямой и непрямой) выпуск продукции отраслью, указанной в строке, который требуется для изготовления единицы продукции отраслью, указанной в столбце. Из таблицы можно получить массу полезной информации о работе экономики. Она показывает, сколько всего продукции, предназначенной для конечного потребления и играющей промежуточную роль, необходимо произвести, чтобы удовлетворить конечный спрос при любом сочетании его составляющих. Если потребность конечных пользователей

в каком-либо виде продукции резко увеличивается или уменьшается, то можно рассчитать изменения, которые необходимо внести во все производящие секторы экономики, которые затрагивает это изменение, пусть даже косвенно. Отдельные предприятия могут использовать столбцы в таблице, чтобы планировать цены, а строки — чтобы проводить анализ рынка. Главное же преимущество метода в том, что все взаимные связи между отраслями представлены в наглядной форме, поэтому возможны подробное планирование и анализ. Так, если нужно увеличить выпуск автомобилей, то в расчет принимается не только дополнительное производство стали (прямые затраты автомобильной промышленности), но и дополнительное производство стали для производства дополнительных железнодорожных вагонов, которые будут доставлять эти дополнительные автомобили, и еще большее дополнительное производство стали для постройки нефтеперегонных заводов, которые будут производить топливо для тепловозов, которые будут тянуть дополнительные вагоны, и т. д.

Особенности межотраслевого баланса. Метод «затраты-выпуск» позволяет организовать и упорядочить подробную информацию о взаимосвязанных потоках в социальных системах. Ни системная динамика, ни эконометрика с их парадигмами не могут обеспечить настолько детальное представление. В этом отношении межотраслевой баланс представляет для разработчиков моделей поистине уникальный инструмент.

Специалисты по межотраслевому балансу, как и эконометристы, используют экономические данные, доступные для непосредственного наблюдения, и не стремятся отражать причинно-следственные механизмы, лежащие в основе всего происходящего. Метод «затраты-выпуск» еще дальше, чем эконометрика, уходит от вопросов о причинах процессов и событий. Его интересует только то, что *уже* произошло. Правила принятия решений, из-за которых межотраслевые потоки приобретают ту или иную величину, вообще не фигурируют в модели ни в каком виде. Таблица затрат и выпуска, с которой начинается любой межотраслевой анализ, составляется исключительно по фактическим данным о состоянии экономической системы в конкретный год. Неизвестно, типично ли для системы такое состояние, было ли оно оптимальным, работала ли она эффективно, достигала ли желаемых целей, пребывала ли в равновесии. Парадигма межотраслевого баланса имеет чисто описательный характер, ее нельзя назвать ни предписывающей, ни стремящейся к чему-либо. В каком-то смысле такая описательность уравновешивает излишнюю теоретичность экономической науки: больше внимания уделяется непосредственным деталям текущей экономической деятельности, а не поискам гипотетического равновесия или оптимума. К тому же метод делает основной упор именно на физических потоках реальных товаров и услуг.

Переход от таблицы затрат и выпуска, основанной на фактических данных по работе экономики за конкретный год, к структурной матрице, представляющей собой обобщенную модель, которую можно использовать для прогнозирования, планирования и проверки стратегий, в принципе логичен, но зависит от трех ключевых предположений.

1. *Линейность*. Численные зависимости между затратами и выпуском для каждой отрасли экономики должны оставаться постоянными для всех возможных значений затрат и выпуска, в какой бы диапазон они ни попадали. Это требует постоянного соблюдения масштаба. Математика вынуждает использовать только линейные зависимости, поскольку иначе структурную матрицу нельзя будет обратить.
2. *Непрерывность*. Каждая отрасль экономики должна быть способна к увеличению или уменьшению выпуска на любую величину, при этом соотношение между затратами и выпуском должно оставаться неизменным. Это означает, что ни затраты, ни выпуск не должны меняться дискретно, скачкообразно.
3. *Мгновенность изменений*. В таблице затрат и выпуска в принципе отсутствует временно́е измерение. В системе нельзя отразить ни запаздывания, ни «узкие места» в доступности продукции, из которой формируется затратная часть, либо в самом выпуске целевой продукции. Таблицу можно использовать, чтобы оценить влияние на систему изменений в спросе конечных потребителей, значение технологических условий и другие факторы, но она не позволяет определить или хотя бы примерно оценить время, необходимое для реализации таких изменений.

Предположения о линейности и непрерывности внутренне присущи методу межотраслевого баланса. Их можно было бы ослабить лишь за счет очень серьезного усложнения математического аппарата. Предположение о мгновенности изменений относит метод «затраты-выпуск» к разряду статических моделей, которые мы уже обсуждали. Его можно превратить в динамический, если использовать совместно с каким-либо другим методом моделирования, который позволит отследить изменение матрицы во времени. Например, таблицу затрат и выпуска за 1985 г. можно использовать для расчета совокупного, валового производства в экономике; затем провести эконометрический анализ, который свяжет валовое производство с доходами и спросом конечных потребителей по различным секторам на следующий год; эту зависимость можно использовать для прогноза спроса конечных потребителей на 1986 г. Прогноз, в свою очередь, можно использовать в таблице прямых и косвенных затрат для расчета объема промежуточного производства по всем секторам и результаты приплюсо-

вать к прогнозируемым значениям валового производства на 1986 г. Процесс можно повторить несколько раз, делая прогнозы на все более отдаленное будущее. Причинно-следственные предположения, лежащие в основе подобного динамического анализа, формируют петлю положительной обратной связи, которая порождает экспоненциальный рост производства в экономике (рис. 2.8).

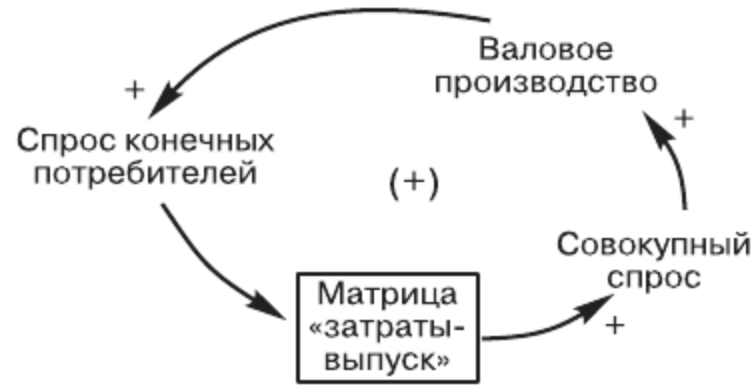


Рис. 2.8

Со временем могут изменяться и технические коэффициенты в матрице из-за влияния внешних факторов (например, технического прогресса) или внутренних процессов (например, изменения относительных цен, вызывающего замещение производственных факторов). В системе могут появляться новые отрасли, и тогда структурная матрица будет увеличиваться в размерах.

Любое динамическое применение моделирования по методу «затраты-выпуск» добавляет к предположениям, лежащим в основе статического анализа, набор дополнительных предположений, относящихся к динамическим изменениям затрат, выпуска и технических коэффициентов. Этот набор может быть получен простой экстраполяцией либо объясняться внешними движущими силами, берущими начало в мысленных моделях. Можно также использовать адаптированный вариант какой-либо из динамических парадигм моделирования, например эконометрической или системно-динамической.

Основные направления использования метода «затраты-выпуск». Предположения о линейности и непрерывности больше всего подходят к таким системам, которые не очень отличаются от систем, создающих исходные данные. По этой причине межотраслевой баланс наиболее полезен для анализа незначительных изменений в экономических системах за непродолжительный период. Модели «затраты-выпуск» позволяют получить необходимые подробности, которые хорошо дополняют экономический анализ и прогнозирование и в деталях отражают сложные потоки денежных средств, товаров и даже энергии и воды, необходимых для промышленного производства. Так, межотраслевой баланс использовался, чтобы получить:

- прогноз для экономики США, подразделенный на 90 отраслей, на период с 1965 по 1975 г.[40];
- анализ затрат на воду по секторам экономики для штата Калифорния (технические коэффициенты были выражены в акрофутах воды на млн долл. выпускаемой продукции)[41];
- описание последствий от перераспределения расходов (перенаправления средств из военно-промышленного комплекса на гражданские отрасли, предложенного правительством США) для 60 секторов экономики и 19 географических регионов[42];
- оценку энергетических потоков в экономике США (подразделение на 357 секторов) в 1963 и 1967 гг., которая использовалась для анализа межотраслевых эффектов в различных энергетических программах страны[43].

Все эти исследования иллюстрируют разносторонние возможности метода «затраты-выпуск» для подробного описания межотраслевых или межрегиональных потоков, для краткосрочного анализа различных стратегий, не предусматривающих ни резких скачков в системе, ни изменения ее структуры. Межотраслевой баланс, безусловно, полезен на стадии детальной проработки решений и в некоторой степени пригоден для разработки стратегии. Требования к исходным данным строги, построение исходной матрицы стоит большого труда, поэтому исследования межотраслевого баланса ориентированы на итоговую продукцию. Метод нацелен на создание единой матрицы, которую можно использовать для самых разных целей, при этом основную пользу приносят расчеты, выполненные с помощью готовой модели, а не процесс ее создания.

Проблемы и ограничения межотраслевого баланса. Статические модели межотраслевого баланса имеют фиксированную структуру, и диапазон их применения ограничен. В этом есть свой плюс: структурно-понятийные проблемы в этом методе моделирования (по крайней мере, в его статичном варианте) не так докучают разработчикам, как в системной динамике и эконометрике. Создателю модели не приходится тратить массу времени для того, чтобы разобраться в невидимых механизмах, связывающих переменные между собой; ему требуется лишь собрать данные по взаимосвязям — то, что поддается измерению. Разумеется, за подобную понятийную упрощенность приходится расплачиваться ограниченной применимостью метода. Многие насущные вопросы политики и стратегии адресовать модели межотраслевого баланса просто нельзя. Зато для тех вопросов, что попадают в сферу применимости метода, структурные неясности не имеют никакого значения.

Сильная сторона межотраслевого баланса и оправдание самого факта его существования — способность предоставить детальную карти-

ну, широкий «срез» сложной системы. На практике, однако, любая детальность имеет свои пределы. Включить в таблицу межотраслевого баланса дополнительные секторы экономики можно только в том случае, если доступны дополнительные данные и есть возможность их компьютерной обработки и хранения. В любой большой стране разложить экономику по всем компаниям, предприятиям и заводам невозможно просто потому, что это превысит любые возможности сбора и обработки такого количества информации. Это не под силу любому существующему компьютеру*. В любом случае потребуется прибегнуть к обобщению разных видов производительной деятельности.

Что с чем и как именно обобщать — извечный вопрос моделирования, и простого ответа на него нет. Следует ли объединять тех, кто выращивает пшеницу, с производителями риса? Всех производителей зерновых с теми, кто его перерабатывает? Всех поставщиков продовольствия с теми, кто выращивает хлопок и лен? А их, в свою очередь, с теми, кто изготавливает синтетические волокна? Обобщение величин, между которыми есть принципиальные различия в характеристиках, всегда чревато последствиями.

Окончательно решить проблему обобщения в конкретной модели можно только с учетом ее цели. К сожалению, большинство моделей межотраслевого баланса требуют вложения такого количества труда, что новые модели просто не предназначены для каких-то конкретных целей. Основная масса разработчиков начинает с некой «модели общего назначения», обычно создаваемой для экономики страны в целом. Степень детальности таких моделей определяется не их целью, а тем, какие данные и какие вычислительные возможности есть у разработчиков.

Если специалист по межотраслевому балансу при создании модели сэкономит время на стадии проработки понятий, он все равно затратит силы и время на сбор данных, чтобы заполнить все поля в таблице «затраты-выпуск». Данные требуются самые четкие и недвусмысленные: измеряемые физические или денежные потоки (а не безразмерные переменные, характеризующие состояние модели, с которыми зачастую имеет дело специалист по системной динамике). Вычленить необходимые данные из бухгалтерских записей и представить их в непротиворечивой форме — задача очень непростая. Обычно для ее выполнения нужна прямая поддержка государства.

Первая сложность — найти подходящие и достаточно полные экономические данные, с нужным уровнем обобщения. В некоторых

---

* На сегодняшний день существуют очень мощные компьютеры, способные обрабатывать огромные массивы информации, поэтому сейчас основным ограничением выступают не вычислительные мощности, а доступность подробных исходных данных, на основе которых строится таблица материального баланса. — *Прим. пер.*

странах или регионах их может не быть вообще. И даже в тех государствах, где сбор статистики налажен в масштабах всей страны, обычно на заполнение одной таблицы «затраты-выпуск» уходит от 5 до 10 лет работы. Такое запаздывание представляет собой серьезное препятствие для использования линейного метода, рассчитанного на выдачу краткосрочных прогнозов, — чем больше промежуток между сбором данных и прогнозируемым периодом, тем менее надежны все сделанные предположения.

Таблица межотраслевого баланса обязана быть внутренне непротиворечивой. Для каждой отрасли и всей системы в целом должно выполняться правило: суммарные затраты равны суммарному выпуску. Построение таблицы на самом деле представляет собой замечательный инструмент для проверки правильности бухгалтерского учета в стране. К сожалению, данные практически никогда не бывают идеально согласованными друг с другом, и эту особенность экономической информации обязательно надо учитывать. На практике это может привести к тому, что расчеты по методу межотраслевого баланса будут стопориться до тех пор, пока табличные данные не будут обновлены и приведены в согласованный вид. При этом само представление о согласованности отдано на откуп разработчику модели и зависит от его суждений, интуиции, знаний о реальных системах. Этот этап в создании модели редко фиксируется документально и предоставляет возможности для подгонок и махинаций. Подгонка в том или ином виде может присутствовать во всех разновидностях моделирования, и на практике строгие правила заполнения и сама структура таблицы затрат и выпуска довольно сильно ограничивают возможности вольного обращения с данными. Но это заключение сложно полностью подтвердить или опровергнуть, поскольку анализ чувствительности в межотраслевом балансе носит зачаточный характер, как и в большинстве других школ моделирования.

Модели «затраты-выпуск» уделяют максимум внимания материальным или реальным денежным потокам в экономике, но напрочь упускают из рассмотрения потоки информационные. В системе могут проводиться детальные расчеты истинной стоимости производства, но это не то же самое, что действительная цена товаров. Такие модели не могут учесть изменяющиеся валютные курсы по предметам потребления — фактически они не в состоянии отразить динамику рынков и цен. Их использование никак не проясняет ситуацию, а на самом деле только отвлекает внимание от реальных процессов принятия решений. И хотя сильная сторона межотраслевого баланса — отражение материальных потоков, тем не менее модели «затраты-выпуск» не включают в себя ни первичные источники сырья и энергии для экономики, ни конечные стоки. (Попытка включить ресурсы и загрязнения в межотраслевой баланс приводится в описании модели RfF в главе 5.)

На модели «затраты-выпуск», как и на эконометрические модели, огромное влияние оказывают математические требования, в особенности ключевое положение о линейности. Такое требование может оказаться невыполнимым для метода межотраслевого баланса даже в большей степени, чем для эконометрики, поскольку в нем уровень детальности гораздо выше. Отдельные предприятия и секторы экономики могут столкнуться с уменьшением или увеличением оборота, с перебоями и «узкими местами» в поставках, со скачкообразными изменениями затрат намного раньше, чем это затронет экономику в целом. Как мы уже говорили, требование линейности может быть полностью приемлемо только в краткосрочном масштабе. Задача в том, чтобы не пытаться использовать метод в области, для которой он не предназначен.

Выводы. Межотраслевой баланс позволяет отразить потоки денежных средств, ресурсов или продукции между различными производителями и потребителями, включая масштабы всей экономики. Метод основан на предположении о линейности и непрерывности взаимосвязей между затратами в каждом секторе производства и его объемами выпуска. Межотраслевой баланс можно использовать, чтобы судить о возможных последствиях изменений в экономической системе, которые еще только предполагается произвести. Он пригоден для составления подробных и достаточно точных экономических прогнозов на ближайшую перспективу.

Модель «затраты-выпуск» дает лишь статическую картину, «срез» экономической системы, если только не включить в него внешние прогнозы или использовать совместно с каким-либо динамическим методом моделирования. Требования, предъявляемые к данным, на основе которых строится подробная таблица «затраты-выпуск», имеют большое значение, и на сбор информации для модели в масштабах всей страны может потребоваться несколько лет. Предположение о линейности и непрерывности ограничивает использование межотраслевого баланса лишь краткосрочными прогнозами либо изучением незначительных изменений в привычных условиях. В рамках таких ограничений межотраслевой баланс позволяет получить подробное, внутренне непротиворечивое представление о сложной системе производства, обладающей большим количеством внутренних взаимосвязей.

2.3.4. Оптимизация

Промышленное производство, использование ресурсов в экономике, активизация военно-промышленного комплекса во время боевых действий — все это сложные сочетания многочисленных взаимосвязанных видов деятельности. Различия могут заключаться в поставленных целях, в конкретных процессах, в масштабе усилий. Но в основе всех этих внеш-

не несопоставимых систем лежат принципиально схожие методы управления, для них вполне можно сформулировать общие правила. Для этого необходимо посмотреть на структуру и состояние системы, на цели, которых необходимо достичь, и составить список мер, которые следует предпринять. Расписать их по порядку и времени... что позволит системе перейти из текущего состояния в желаемое[44].

Истоки оптимизации. Во время Второй мировой войны планирование и координация военных операций США стали такими сложными, что начались вычислительные эксперименты по расчетам потребностей в людях, продовольствии, боеприпасах и других ресурсах, чтобы поставленные задачи можно было выполнить наилучшим образом. После войны военно-воздушные силы создали исследовательскую группу по научным расчетам оптимальных программ, Scientific Computation of Optimum Programs, целью которой было продолжить разработку методов оптимального распределения ресурсов. В 1947 г. эта группа под руководством Джорджа Данцига разработала первую модель, основанную на линейном программировании, и симплексный метод поиска оптимальных решений. Линейное программирование быстро распространилось и стало применяться во многих областях, в особенности для решения инженерных задач, управления производством и проведения экономического анализа. Совершенствование компьютеров и математических приемов привело к разработке нелинейных методов оптимизации, включая целочисленное программирование, квадратичные и геометрические методы, а также формулирование общих принципов оптимизации[45].

Оптимизационные модели выбирают из большого количества возможных стратегий тот единственный вариант, который обеспечивает максимальный результат в достижении поставленной цели. Например, программы по оптимизации постоянно используют на нефтеперерабатывающих заводах, чтобы подобрать такое сочетание условий, последовательностей операций, объемов подачи сырья и добавок, емкостей для хранения продукции и маршрутов перевозок, чтобы произвести и доставить территориально разбросанным рыночным потребителям максимальное количество продукции с минимальными издержками. Оптимизация, пожалуй, самый часто используемый метод компьютерного моделирования — он необходим как основа для принятия управленческих решений, особенно в промышленности.

Пример модели оптимизации. Представим себе страховую компанию, которая собирается вложить в дело 100 000 долл. и может выбирать между двумя направлениями инвестирования, причем связанные с ними риски неодинаковы[46]. Вложение в направление X дает годовой доход на уровне 5%, а вложение в направление Y — 8%. Принятые в компании правила и требования устава гласят, что не менее

четверти всех фондов следует инвестировать в направление X и не более 50% средств — в направление Y. Более того, существует дополнительное условие: вложения в Y не могут превышать вложения в X более чем в полтора раза. Учитывая все эти ограничения, как должна распределить свои средства страховая компания, чтобы получить максимальный доход?

Компании доступны две ключевых переменных, два элемента: средства для инвестирования в X и средства для инвестирования в Y. Это те самые неизвестные, для определения которых нам необходима модель. Целевая функция — величина доходов за год, ее необходимо максимизировать. Если размерность величин X и Y — тыс. долл., то функция имеет следующий вид:

$$Z = 50X + 80Y$$

Существует ряд ограничений на то, как компания может вкладывать свои средства. Самое простое и очевидное из них — что суммарное количество инвестиций не может превышать 100 000 долл. (хотя может быть меньше этой суммы).

$$X + Y \leq 100$$

Кроме того, величина X должна составлять не менее 25% от доступных средств, а Y не может быть более 50%.

$$X \geq 25$$
$$Y \leq 50$$

Напомним, что величина Y не может превышать X более чем в полтора раза:

$$Y \leq 1{,}5X$$

И наконец, любая величина вкладываемых средств заведомо не может быть отрицательной, поэтому X и Y должны быть больше/равны нулю:

$$X \geq 0$$
$$Y \geq 0$$

Задача формулируется следующим образом: найти максимум функции $Z = 50X + 80Y$ (т. е. указать соответствующие значения X и Y, при которых значение Z будет максимальным) при следующих ограничениях:

$$X \geq 25$$
$$Y \leq 50$$
$$1{,}5X - Y \geq 0$$

$$X + Y \leq 100$$
$$X \geq 0$$
$$Y \geq 0$$

Задача очень проста, поскольку переменных всего две, X и Y, и ее решение можно проиллюстрировать двумерным построением (см. рис. 2.9). Шесть ограничивающих условий отражены сплошными прямыми; они очерчивают область, закрашенную серым цветом. Все точки внутри серой области удовлетворяют всем шести условиям и представляют собой возможные решения, из которых необходимо выбрать то, что даст наибольший годовой доход. В данном случае выбрать такое решение тоже можно графическим способом. Пунктирные линии представляют собой графики получаемых процентов с вложенных сумм для возможных значений целевой функции Z (величины годового дохода). Линия, проходящая через точку A, соответствует максимальному значению Z, при котором имеется точка пересечения с серой областью. Таким образом, оптимальным вариантом будет вложение 50 000 долл. в направление X и 50 000 долл. в направление Y. Годовой доход при этом составит 6500 долл.

После того как модель оптимизации построена, ее можно использовать не только для поиска оптимальной точки, но и для получения дополнительной информации. Например, из графиков на рис. 2.9 можно определить, в каких точках ограничения выполняются, а в каких нет. Можно наглядно представить, как изменится картина, если какие-то ограничения повысить, а какие-то понизить. Можно даже посмотреть, каким будет решение, если изменить целевую функцию. Например, на рис. 2.10 показан поиск оптимальной точки для двух других целевых функций: $Z_1 = 60X + 75Y$ (в этом случае точка A по-прежнему будет оптимальной, в ней годовой доход максимален) и $Z_2 = 80X + 60Y$ (здесь оптимальная точка изменяется, она отмечена на графике буквой B — выгоднее всего вложить все средства в направление X).

В реальной жизни в задачах на оптимизацию могут фигурировать десятки и даже сотни переменных, значения которых можно варьировать, и сотни ограничений. В таком случае использовать графическое двумерное решение уже не удастся. Ограничения образуют сложное многомерное пространство, в котором где-то скрыт желаемый минимум или максимум. У разработчика оптимизационной модели больше всего времени уходит на выбор эффективного численного метода для поиска максимумов или минимумов и на подтверждение того, что найденный экстремум абсолютен, а не локален. О том же говорит и теория оптимизации, и все учебные руководства на эту тему. Чем многомернее и сложнее пространство, где может находиться решение, тем сложнее математические выкладки и процесс поиска. Такую кропотливую работу может выполнить только компьютер.

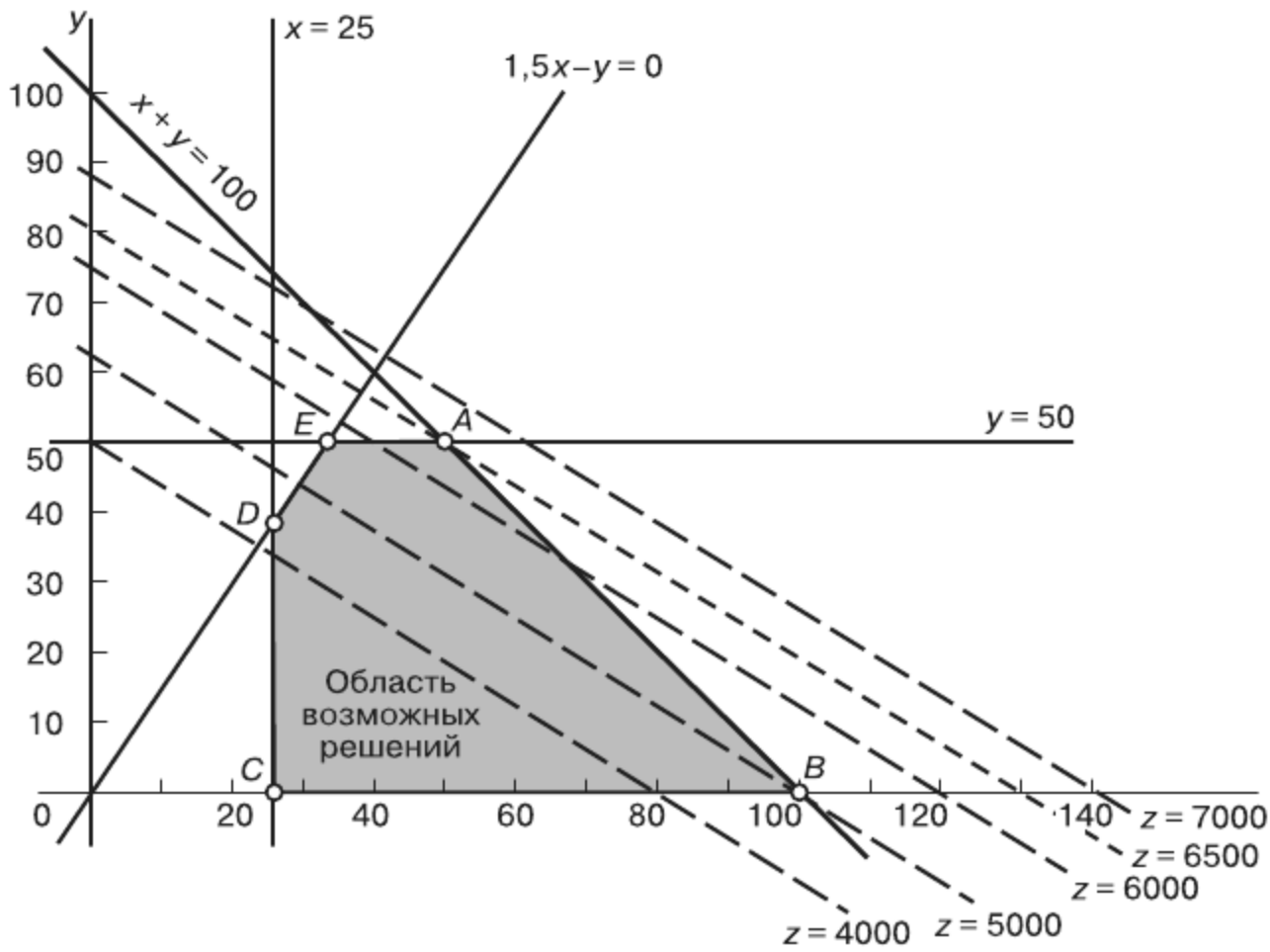


Рис. 2.9. Графическое решение задачи линейного программирования

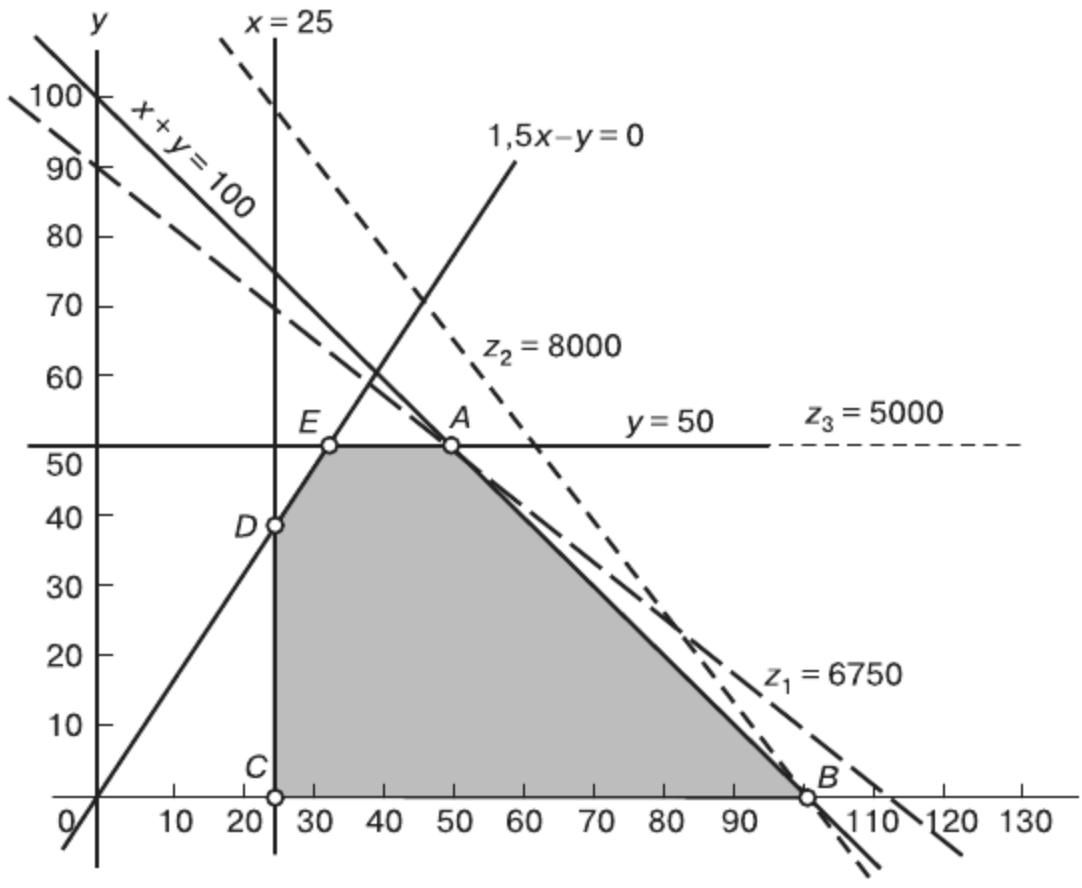


Рис. 2.10. Что происходит при изменении целевых функций (Графики приводятся по источнику: *Daellenbach Hans G., Bell Earl J.* User's Guide to Linear Programming, © 1970. С. 31, 32. Перепечатка по разрешению: Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J.)

Особенности оптимизации. Метод оптимизации требует, чтобы проблема была сформулирована в максимально простой и однозначной форме:

- найти максимум или минимум: целевая функция;
- допускается изменение: управляющие переменные;
- следует соблюдать: ограничения.

Целевая функция описывает либо благосостояние системы (прибыль, выпуск продукции, доходы суммарные или душевые), и тогда нужно найти максимум, либо затраты системы, и тогда необходимо отыскать минимум. Управляющие переменные — все варианты стратегий, какие только есть в распоряжении лица, принимающего решение. Например, при планировании сельскохозяйственной деятельности целевой функцией может быть суммарный объем производства — его необходимо максимизировать. Управляющими переменными могут быть площади земель, отводимые под посев для каждого вида зерновых, количество удобрений и воды для полива, также в расчете на каждую сельскохозяйственную культуру. Ограничения будут описывать требуемые или желаемые отношения между управляющими переменными. В примере с сельским хозяйством ограничения будут гласить, что площадь под каждую культуру должна быть меньше или равна суммарной площади обрабатываемой земли, что суммарные расходы на удобрения не должны превышать определенной величины и т. п.

Когда задача сформулирована, начинается поиск ее решения — экстремума (минимума или максимума) в области возможных значений, очерченной ограничениями. Поиск становится проще с математической точки зрения, если целевая функция и ограничения представляют собой линейные зависимости — так было в приведенном ранее примере. Если ограничения в принципе можно соблюсти, то задача решается методом *линейного программирования*. Область возможных значений, находящаяся внутри ограничивающих прямых, представляет собой участки плоскости — в трехмерной системе можно представить себе эту фигуру как полиэдр, многогранник. Любой максимум или минимум на такой поверхности обязательно будет углом, поскольку именно углы представляют собой пересечения нескольких плоскостей, что эквивалентно выполнению нескольких ограничений. По этой причине область поиска можно сузить и проверять только точки, составляющие периметр, и тогда найти абсолютный максимум или минимум гораздо проще. В линейном программировании существует ряд методов для решения подобных задач. В пакеты программного обеспечения включены модули, которые позволяют без усилий просчитать практически любые задачи, их только надо сформулировать в соответствии с требованиями линейного программирования.

Парадигма оптимизации имеет такую же жесткую и строгую форму, как и в межотраслевом балансе, но при этом оптимизация очень широко используется и приносит большую пользу, поскольку те ограниченные условия, в которых она применима, часто встречаются в процессе принятия решений. Тем не менее методы оптимизации можно использовать только тогда, когда есть четкая и понятная целевая функция, когда сформулированы и зафиксированы ограничения в системе, когда перечислены управляющие переменные, и тот, кто принимает решение, действительно может их менять. Подобные условия редко встречаются на этапе общего понимания или выработки общей стратегии.

А вот на конечном этапе, при проработке детального решения, когда задача сведена к выбору из уже изученных и подробно описанных вариантов ради достижения однозначной цели, оптимизационные модели приносят огромную пользу. Более того, на ранних стадиях определения проблемы (формулирование цели, перечисление переменных и ограничений) уже создается набор организационных понятий и идей, которые затем помогают избавиться от чрезмерной сложности, даже если поначалу задача была не очень хорошо структурирована и не поддавалась непосредственному оптимизационному анализу. Парадигма оптимизации требует строгого подхода и ясного формулирования целей, что уже само по себе очень полезно.

Несмотря на то что парадигма оптимизации использует жесткую форму, разработчик модели (особенно тот, у которого хорошее воображение) вовсе не связан по рукам и ногам, и его поле деятельности очень обширно. Например, целевую функцию можно выразить с точки зрения минимизации затрат денежных средств, рабочей силы или использования редкого вида ресурсов, либо с точки зрения максимизации прибыли, выпуска, производительности, каких-либо других показателей благосостояния и эффективности. Нельзя вести оптимизацию одновременно по двум целевым функциям, однако вторичные цели вполне можно сформулировать в виде ограничений. На самом деле, целевые функции и зависимости, описывающие ограничения, довольно часто могут меняться ролями. Например, исследователь может стремиться максимизировать выпуск промышленной продукции и при этом не допустить расхода энергии выше определенного порога, либо пытаться минимизировать потребление энергии, используя при этом ограничение — требование, чтобы выпуск не опускался ниже определенного значения.

Правильно построенная программа оптимизации не только позволяет находить наилучшее решение для достижения конкретного значения целевой функции, но и четко показывает, какой ценой удается этого добиться. Усиливая или ослабляя те или иные ограничения либо меняя параметры в целевой функции, исследователь может выяснить, как различные физические условия и социальные приоритеты влия-

ют на положение оптимальной точки. Модель также может показать, что набор целевых функций и ограничений вообще не имеет математического решения — значит, проблема была сформулирована неправильно либо заданы невыполнимые зависимости и значения.

Вид и параметры целевой функции критически важны, и часто они задаются заказчиком модели. Формулирование ограничений на самом деле тоже очень важно (просто это не так очевидно); также нельзя упускать из рассмотрения окружение, в условиях которого принимается оптимизационное решение. Здесь практически всё зависит от знаний и экспертного мнения разработчика модели.

В инженерных и транспортных задачах, в других физических оптимизационных моделях количество ограничений в системе может быть очень велико. Они могут иметь сложную форму, но поскольку их основной источник — законы физики, свойства вещества или текущее пространственное состояние системы, обычно они внутренне непротиворечивы. Самый распространенный тип ограничений — уравнения материального баланса, утверждающие, что поток из некоего источника не может превышать объемов этого источника или что сумма отдельных физических частей системы не может быть больше целого.

Ограничения привносят в статические и динамические модели описание очень важных взаимосвязей в системе. Ни линейное программирование, ни другие методы оптимизации не содержат основополагающих требований о том, как создавать модель и выяснять ее структуру. По этой причине на практике самые важные предположения в оптимизационных моделях заимствуются из каких-то других парадигм, часто из экономики. Например, в оптимизационных моделях социальных систем типичным ограничением будет требование, чтобы предложение равнялось спросу, или расчет выпуска продукции по уравнению Кобба-Дугласа через затраты капитала и рабочей силы.

Метод оптимизации можно использовать совместно с любым из трех ранее перечисленных методов моделирования — системной динамикой, эконометрикой или межотраслевым балансом. В каждом случае на формулировку ограничений в программе оптимизации будут оказывать определяющее влияние соответствующие предположения, сильные и слабые стороны другой парадигмы[47].

Изначально методы оптимизации были линейными и статическими. По сути, они представляли собой наилучшую стратегию для поиска единственного решения в данный момент времени, с ограничениями и целевой функцией, выраженными в виде линейных уравнений, не зависящих от времени. На сегодняшний день математические методы и компьютерные технологии сделали большой шаг вперед, поэтому стало возможным нелинейное программирование в динамике. Ограничения и целевые функции теперь могут зависеть от времени — например, от оптимального решения, найденного для предыдуще-

го периода. В определенном смысле можно даже включить в модель принципиальные решения «да-нет», которые не выражаются в виде непрерывной линейной функции. Однако за все подобные усовершенствования и улучшение реалистичности приходится расплачиваться, как правило, меньшей ясностью модели и существенным увеличением времени, которое тратится на расчет.

Оптимизационные модели стремятся к максимальной подробности и могут содержать сотни, а то и тысячи уравнений. Большую линейную программу составить непросто, а ведь затем ее надо проверить на ошибки, отладить и только потом запустить на выполнение. Поэтому обычно модели создают для многократного использования, для постоянного принятия текущих решений. Фактически оптимизационное моделирование больше ориентировано на конечный результат, чем на процесс.

Основные направления использования оптимизации. Примеры оптимизации включают в себя модели для планирования наименее затратных маршрутов перевозок, для поиска оптимальных мест расположения очистных сооружений на реках, для распределения нагрузки по выработке электроэнергии между несколькими электростанциями, для разработки стратегий наполняемости складов и т. п. Подобные прикладные задачи очень хорошо соответствуют возможностям и требованиям оптимизации: целевая функция известна и сформулирована в явном виде, досконально изучены все ограничения и переменные. Цели и ограничения настолько очевидны, что их едва ли можно неверно понять. И даже если по каким-то причинам что-то было интерпретировано неправильно, ошибку практически всегда очень легко обнаружить. Практически все подобные варианты применения предназначены для этапа детальной проработки решения.

Несколько реже (по крайней мере, в текущих условиях) оптимизационные модели используются для представления более общих социальных проблем. Но все равно можно привести некоторые практические примеры из области моделирования развития, использования ресурсов, расчета численности населения.

Поиск механизма распределения для всех типов энергоресурсов в США, который бы минимизировал суммарные будущие затраты при удовлетворении предполагаемого спроса на энергию в период с 1970 по 2170 г.[48]

Модель для планирования развития образовательной системы, рассчитывающая оптимальное количество студентов, поступающих в учебные заведения в различные периоды, чтобы при этом прогнозируемый спрос на рабочую силу удовлетворялся при минимуме расходов[49].

Модель экономического планирования для правительства Мексики, максимизирующая потребление в масштабах страны в период продолжительностью 18 лет[50].

Проблемы и ограничения оптимизации. Для моделей оптимизации характерны многие проблемы из тех, что уже встречались нам при обсуждении других методов моделирования. Пакеты для поиска решений, основанные на линейном программировании, распространились очень широко, пользоваться ими нетрудно даже тем, у кого совсем нет опыта, и это создает почву для неправильного применения. Источники данных для оптимизационного моделирования используются те же, что и для других моделей, и проблема неточности и неполноты данных также актуальна. Проверка адекватности моделей оптимизации — процесс не формализованный, совсем не однозначный, не имеющий четких критериев, как и в других школах моделирования.

Особое значение для оптимизации имеют две проблемы: время на выполнение компьютерных расчетов и чувствительность модели. Поиск оптимальной точки требует кропотливой работы. Даже компьютеру необходимо много времени на перебор вариантов, и расходы на подобные модели обычно высоки. Иногда настолько, что это служит ограничивающим фактором в запуске и проверке модели. Подробность данных и их разбивка по регионам и подмножествам только увеличивают затраты, так же как и уменьшение шага по времени или увеличение периода для расчета — поиск оптимальной точки в каждом новом временно́м периоде для каждого региона требует дополнительных расчетов. Проблема стоит настолько остро, что обычно приходится выбирать между детальностью и динамическим характером модели: очень подробные модели обычно просчитываются только для одного периода, а долговременные динамические модели используют более обобщенные параметры.

К сожалению, ограничения, связанные со временем на выполнение компьютерных расчетов, влияют также на один из важнейших этапов работы — анализ чувствительности. Модели оптимизации, в особенности те, что основаны на линейном программировании, могут быть чрезвычайно чувствительны к небольшим изменениям параметров. Результат работы оптимизационной модели — одна оптимальная точка с конкретными координатами, а не последовательность точек во времени. Это точка минимума или максимума, точка пересечения целевой функции с достаточно сложной, многомерной фигурой, образованной ограничениями. Незначительные изменения в угле наклона или смещение графика, отражающего целевую функцию, могут привести к тому, что оптимальная точка окажется совсем в другом месте, и это полностью поменяет решение. Например, для динамических линейных моделей инвестиционной политики в масштабах страны характерна проблема «из крайности в крайность»: небольшое изменение параметров приводит к переориентированию инвестиций либо на совсем краткосрочные проекты (одна крайность), либо на очень долгосрочные (другая крайность)[51].

Математический аппарат оптимизации допускает частичный анализ чувствительности для некоторых параметров в окрестностях оптимальной точки — его можно проводить одновременно с самой процедурой оптимизации. Если изменять параметры по одному, на небольшую величину, и каждый раз выполнять прогон модели, то можно получить представление о том, как это влияет на результаты. К сожалению, в оптимизационном моделировании анализ чувствительности проводится столь же редко, как и в других методах, при этом здесь он важен как нигде. Анализ чувствительности и связанные с ним проблемы имеют особое значение для больших социальных систем, в которых могут быть сотни чувствительных параметров, при этом лишь некоторые из них известны с высокой точностью, а расходы на тестирование модели зачастую недопустимо высоки.

Хотя принципиальная структура оптимизационной программы интуитивно понятна (целевая функция, ключевые переменные, ограничения) и позволяет четко сформулировать задачу, тем не менее отображение, используемое в модели, довольно часто получается сложным, отвлеченным и трудным для понимания. Поиск решения, который ведет модель, не имеет ничего общего с событиями, происходящими в реальной системе, да и не должен иметь. По этой причине иногда сложно на интуитивном уровне понять, почему сделан тот или иной вывод и какую роль в этом сыграли предположения модели. Более того, модели зачастую настолько громоздки, что человек попросту не в состоянии удержать в памяти все предположения. По сути, большинство моделей оптимизации представляют собой «черные ящики».

Когда мы, специалисты из другой области, обратились к литературе по оптимизации, то практически нигде не увидели четких описаний для сделанных в модели предположений или объяснений ее поведения. В документации на модель вразумительных пояснений, доступных для понимания неспециалистами, просто нет. Подобная сложность, запутанность содержания практически всегда сопровождает громоздкие, подробные модели, предназначенные для принятия точных решений. Если при этом природа системы хорошо изучена (а это действительно так во многих инженерных и промышленных прикладных областях), то единственная проблема, возникающая при этом, — сложность в поиске и исправлении ошибок. В социальных моделях, где предположения могут быть сомнительны и противоречивы, подобная непонятность оптимизационных моделей чревата более серьезными последствиями — она маскирует важные положения и затрудняет критику.

Метод оптимизации имеет свои пределы — они связаны с ограниченной действительностью самих предположений, на которых построена парадигма метода. Лучше всего об этом сказал один из профессиональных разработчиков оптимизационных моделей, его слова

приведены чуть ниже. Во-первых, оптимизация полагает, что путь к оптимальной точке неизменен достаточно продолжительное время, чтобы его можно было найти и использовать.

> Структура и параметры проблем на самом деле постоянно изменяются, особенно в нестабильных средах. Оптимальные решения крайне редко могут приспосабливаться к подобным изменениям, поэтому их оптимальность имеет короткий срок жизни. Часто они становятся менее эффективными, чем были бы более надежные решения, на смену которым призвали оптимизацию... Тем не менее появляется все больше и больше так называемых «оптимальных» решений... В системах принятия решений есть острая потребность в умении учиться и оперативно приспосабливаться к быстро меняющимся условиям. В системах же, выдающих оптимальные решения, сами решения ухудшают положение дел... Как следствие, применение [оптимизации] все больше ограничивается теми проблемами, которые относительно нечувствительны к своему окружению: как правило, это поведение механических систем (а не тех, что нацелены на достижение какого-то состояния) для них характерен низкий уровень организации[52].

Во-вторых, оптимизация полагает, что есть четкая разница между средствами достижения цели (ключевыми переменными) и результатом (целевой функцией).

> В понятии оптимальности значение ключевых переменных оценивается исключительно по их воздействию на результат, целевую функцию. Роль ключевых переменных становится чисто *инструментальной*, *внешней*. Вместе с тем значение самого результата оценивается относительно достижения цели, оно носит *неинструментальный*, *внутренний* характер. [Оптимизация] не признает и даже в принципе не допускает, что ключевые переменные могут иметь внутренний характер, а результаты — внешний...
>
> На самом деле каждая ключевая переменная — это своего рода результат, а каждый результат — это ключевая переменная. Например, посещение школы — ключевая переменная, параметр, необходимый для получения образования, — это конечная цель, результат. Но получение образования — еще и средство повысить уровень доходов, это параметр в достижении другого результата. Повышение доходов, в свою очередь — это средство обеспечить семью и т. д.
>
> Неинструментальный характер ключевых переменных и инструментальная роль результатов — вопрос воззрения, и подобные этические вопросы надо обязательно учитывать в теориях принятия решений... Все больше людей начинают осознавать, что оптимизация всевозможных численных показателей существования вовсе не означает оптимального качества жизни[53].

Как мы уже говорили при обсуждении других методов моделирования, основная проблема заключается в том, чтобы определить, где метод применим, а где нет. Чем у́же область применения, тем мень-

ше вероятность того, что метод будет соответствовать проблеме, и тем больше искушение расширить его применение за пределы полезности. Оптимизация — самый точный и узкоспециализированный метод из всех, что мы обсудили. Поэтому его проще всего применить неправильно, особенно для решения социальных проблем. Оптимизацию часто пытаются использовать для отладки конкретной стратегии, хотя на самом деле никто не гарантировал, что эта стратегия верна. Как однажды заметил в частной беседе Кеннет Боулдинг, «оптимизация может найти лучший способ сделать то, чего вообще делать не следует».

Выводы. Методы оптимизации, например линейное программирование, чаще всего используются для того, чтобы найти наилучший вариант из четко очерченной области возможных решений. Делается это на этапе детальной проработки итогового решения. Парадигма оптимизации предусматривает для любой системы использование трех принципиальных понятий: цели (целевая функция), средств или вариантов ее достижения (ключевые параметры) и ограничений, в пределах которых могут находиться параметры. Оптимизационные модели носят предписывающий характер. Как правило, они линейны, могут быть статическими или динамическими, чаще всего имеют высокий уровень детализации и приносят пользу как метод для принятия рутинных решений в повседневной практике. Модели больше ориентированы на конечный результат, чем на процесс, и сложны для понимания на уровне интуиции. Оптимизационные модели выдают точные результаты, которые могут быть очень чувствительны к небольшим изменениям параметров.

2.4. Составные модели

Ряд моделей, о которых мы расскажем в следующей главе, нельзя отнести к какой-то одной методологической категории из тех, что мы уже рассмотрели. В них есть черты разных парадигм, они заимствуют любые организационные идеи и математические методы, которые могут оказаться полезными для решения конкретной задачи. Например, матрица «затраты-выпуск» может оказаться частью уравнений, задающих ограничения в модели, которая должна оптимизировать инвестиционную политику в масштабах государства. Оптимизационная модель может использоваться для того, чтобы представить, как фермеры принимают решения о вложении средств, и эта подсистема может быть частью долгосрочного имитационного моделирования сельскохозяйственной экономики. Эконометрические методы могут пригодиться для оценки динамических уравнений, связывающих таблицы затрат и выпуска в последовательные годы, или для того, чтобы определить параметры для табличной функции в системно-динамической модели.

Многие из подобных «разношерстных» моделей вовсе не стремятся объединить различные парадигмы; на самом деле они прочно основаны на философских принципах и мировоззрении какой-то одной школы моделирования и лишь заимствуют некоторые удобные идеи, понятия или программное обеспечение из наработок другой школы. Однако есть и другие группы моделирования, которые искренне стремятся к открытости, применению разных подходов и сочетанию парадигм. Результаты таких стремлений известны под разными названиями, в том числе жаргонными (например, «сборная солянка»), но мы предпочитаем называть их *составными моделями*.

Преимущества составных моделей вполне очевидны. Некоторые из слабых сторон и ограничений, свойственных отдельным парадигмам моделирования, вполне можно обойти, используя сочетание методов. На самом деле, самые часто возникающие сочетания направлены именно на то, чтобы нейтрализовать наиболее жесткие ограничения того или иного метода, связывающие руки разработчикам. Например, составные модели «эконометрика + межотраслевой баланс» допускают преобразование обычного анализа затрат и выпуска в динамическую форму, а эконометрические модели при этом становятся не такими обобщенными и точнее описывают физические потоки.

Составные модели выигрывают от сочетания сильных сторон, почерпнутых у разных методов, но наследуют и их слабости. Сочетание системно-динамической модели с межотраслевым балансом наверняка потребует преобразования уравнений системной динамики в линейную форму или обобщения и меньшей детализации матрицы «затраты-выпуск». Использование эконометрической оценки в качестве ограничений в линейной программе приведет к тому, что часть вполне реальных социальных или психологических ограничений будет упущена из виду, потому что для них нет накопленных данных. Совокупность нескольких методов моделирования может оказаться непрочной из-за какого-то слабого звена — где тонко, там и рвется. Может получиться так, что сочетание слабостей даст настолько большой эффект, что даже объединение сильных сторон не сможет этому противостоять. Чтобы этого не произошло, подбирать методы надо очень осторожно и внимательно.

Могут возникать проблемы и с самим построением составной модели, основанной на разных парадигмах. Состыковать между собой различные фрагменты модели, выполненные с разным уровнем детальности, с разными требованиями к данным и математическими выкладками, очень непросто. Цели и разные временны́е масштабы участков модели могут оказаться несовместимы. Что еще важнее, составные модели из-за столь разных характеристик и относительной нехватки ограничений, определяемых парадигмами, прорабатываются не так тщательно и порой допускают нечеткое формулирование задач. Часто

так происходит с моделями общего назначения, пытающимися «объять необъятное» и объяснить о системе всё, ответить на все возможные вопросы о ее будущем. В этом случае модели могут стать совсем недоступными для понимания и выйти из-под контроля. Как однажды заметил Томас Кун[1], парадигмы могут в какой-то степени связывать руки, но они необходимы для того, чтобы обуздать и дисциплинировать мышление. Возможно, разработчикам и удастся накрыть одним колпаком все парадигмы моделирования вместе, чтобы сформулировать собственные представления о природе мира, однако по ходу работы они все равно должны следовать определенным организационным правилам и принципам.

Как покажут примеры в следующей главе, построить действенную составную модель сложнее, чем создать систему в рамках какой-то одной парадигмы. Сочетать парадигмы нужно умело, для этого требуются опыт и профессиональные навыки, полученные в нескольких областях. Если модель разрабатывает команда специалистов, то ее отдельные участники должны наладить обмен информацией, полученной на основе разных парадигм. Они должны осознавать сильные стороны и избегать ловушек, которые кроются в их собственных методах, и проявлять одновременно уважение и здоровый скептицизм в отношении наработок других школ моделирования. К сожалению, подобные качества так же редки среди разработчиков моделей, как и среди любых других ученых. Умению обмениваться информацией со специалистами, воспитанными в рамках других парадигм, нигде не учат...

Чтобы осознать сложности в междисциплинарном обмене данными, давайте подробнее изучим парадигмы системной динамики и эконометрики, взглянув на каждую из них с позиций конкурирующего научного течения. Две этих школы моделирования сильнее отличаются друг от друга, чем любые другие из перечисленных в этой главе. Их различия принципиальны и заложены на философском уровне. Попытки совместного использования системной динамики и эконометрики имеют долгую историю, но на всем ее протяжении они приводили в основном к трениям, а не к положительному результату.

2.5. Пример конфликта парадигм: эконометрика и системная динамика

Системная динамика использует теорию причинно-следственной структуры и ее связь с динамическим поведением — это довольно мощный инструмент для создания моделей. Эконометрика предлагает многочисленные методы для определения параметров, основанных на эмпирике, и способы формального сравнения результатов моделирования с данными о реальной системе. Первый метод дает хорошие

результаты для долгосрочного анализа возможных изменений в текущих тенденциях и поведении. Второй лучше всего подходит для краткосрочных точных прогнозов в ситуациях, которые принципиально не отличаются от тех, что имели место раньше. Может показаться, что совместное использование этих двух методов позволит создавать модели, в которых реалистичность структуры сочеталась бы с точностью параметров, что такие модели были бы очень полезны на любом этапе принятия решений и особенно большую выгоду приносили для решения среднесрочных проблем, которые ни один метод по отдельности как следует проанализировать не позволяет.

Подобное сочетание двух взаимодополняющих инструментов моделирования почти никогда всерьез не использовалось, хотя эта мысль просто напрашивается. Наоборот, мало кто из эконометристов потрудился ознакомиться с методами системной динамики. Те же специалисты по системной динамике, что получили должную подготовку по эконометрике, довольно редко применяют ее инструменты или идеи в своей работе. Сторонники обеих школ рассматривают друг друга скорее как конкурентов, а не как потенциальных коллег, и относятся к работам друг друга очень скептически.

Эконометрические модели лишь незначительно углубляются в тему политического и управленческого значения мысленных моделей... Численные значения в моделях — следствие математических выкладок, их нельзя напрямую соотносить со стимулами и движущими факторами в повседневной жизни людей. Большинством подобных моделей управляют внешние переменные, причем так, что модели не в состоянии породить долгосрочное экономическое поведение на основе своей внутренней структуры. Эконометрическая методология не одобряет и даже препятствует формулированию общих нелинейных взаимозависимостей, несмотря на то что большинство вариантов поведения в реальных социальных системах возникает именно из нелинейных взаимосвязей. Эконометрические модели ограничены теми связями, которые доминировали в рамках условий системы, которые имели место на момент сбора данных. Но ведь некоторые из самых острых социальных проблем возникли потому, что социальные системы работают в условиях, которые прежде никогда не встречались!.. Что еще важнее, эконометрические модели не могут оперировать переменными, по которым нет фактических данных, накопленных за предыдущие периоды. Они полагают, что мир описывается лишь теми переменными, которые были численно измерены. Это предположение неизбежно приводит к тому, что эконометристы полностью исключают из рассмотрения любое проявление мысленных моделей, которые на самом деле определяют политическое и экономическое поведение[54].

Методология, которую использовала группа Массачусетского технологического института, состоит в том, что когда вам нужно оценить какую-либо ситуацию, вы устраиваетесь поудобнее в кресле и делаете заключения только на основе здравого смысла, без каких-либо фактиче-

ских данных о системе... Но ведь за последние столетия наука разработала детальную методологию исследований... Нормальный порядок подразумевает, что вы анализируете определенные данные, изучаете опыт стран, вовлеченных в исследование. Форрестер в своей работе ничего этого не сделал... Если вы спросите у меня, есть ли возможность сотрудничества между экологами и экономистами, учеными и инженерами, я отвечу: «Разумеется, есть»... Но если вы при этом имеете в виду, что я буду строить модель на основе взаимосвязей, которые сформулировал только я, не обсудив вопрос с экспертами, которые разбираются в теме, модель с сотнями уравнений, ни одно из которых не было подтверждено эмпирически, модель, от которой на полном серьезе ожидается, что она покажет, что произойдет в ближайшие 100 или 200 лет, то я отвечу твердым «нет»[55].

В какой-то мере подобную враждебность можно объяснить личными представлениями основателей каждого течения, естественной узкоспециальной направленностью ученых, а также влиянием политических соображений и неизбежной напряженностью, которая возникает при распределении средств на исследования. Но если внимательно изучить обе парадигмы моделирования, то между ними обнаружится принципиальное философское расхождение, от которого очень нелегко избавиться. Взгляды на мир, на которых построены две эти парадигмы, в корне отличаются, и согласовать их между собой почти так же сложно, как примирить современное мировоззрение выпускника престижного вуза и мистические представления мексиканского чародея из книг Карлоса Кастанеды[56]. Каждая парадигма, если оценивать ее с позиций конкурирующей стороны, выглядит непонятной, оторванной от реальной жизни, вводящей в заблуждение. Если эконометристы и специалисты по системной динамике начинают обсуждать вопросы методологии, это обычно превращается в бессмысленное и довольно неприятное для обеих сторон занятие, поскольку они не могут уловить суть и сильные стороны другой методики. Непонимание кроется даже в использовании ключевых понятий: под словами «проверка адекватности», «чувствительность», «данные», «равновесие» и «прогноз» каждая сторона понимает свое, и ее подразумеваемые предположения о мире не имеют ничего общего с представлениями оппонентов.

Томас Кун оценивает шансы по преодолению подобных разногласий в мировоззрении как призрачные:

«Сторонники конкурирующих течений не могут абстрагироваться от собственных целей. Ни одна сторона не признает за другой права на эмпирически не подтвержденные положения, на которых та основывает свою правоту. Хотя каждая школа может надеяться обратить оппонентов в свою веру, привить им свое ви́дение науки и стоящих перед нею проблем, тем не менее никто не может рассчитывать на то, что ему удастся доказать свою правоту. Разногласия между парадигмами — не соревнование, которое можно выиграть на уровне доказательств... Сторонники конкурирующих школ не приходят к согласию даже по списку проблем, которые

призвана решать та или иная парадигма. Их стандарты работы принципиально различаются, даже определение науки у них разное... Но дело не только в несопоставимости стандартов. Поскольку новые парадигмы появляются не на пустом месте, а возникают из старых, обычно они наследуют от предшественников терминологию и инструментарий. Однако используются эти заимствования непривычным, иным способом. В рамках новой парадигмы старые понятия, идеи и методы эксперимента образуют между собой новые связи и начинают жить другой жизнью... Все обсуждения после такого разделения приобретают однобокий характер... Сторонники соревнующихся парадигм говорят на разном языке и не могут понять друг друга... Две группы ученых смотрят с одной точки в одном и том же направлении, но видят разное... Вот почему закономерность, которую нельзя даже показать одной группе ученых, может оказаться интуитивно очевидной для других. По этой же причине, прежде чем удастся наладить эффективный обмен информацией, той или другой группе необходимо испытать качественный скачок, который мы называем сменой парадигм. Из-за того что это переход между состояниями, которые нельзя измерить никакими параметрами, смена парадигм не может происходить шаг за шагом, запланированными этапами, за счет логических аргументов или демонстрации результатов экспериментов. Точно так же человек распознает скрытые изображения в гештальт-картинках — он видит объект сразу целиком, а не определяет его по составным частям, и потом уже не может разучиться видеть его. Так и со сменой парадигм — этот скачок должен произойти одномоментно... или он не произойдет вовсе[57].

В этой главе мы взглянем на эконометрику и системную динамику одновременно, переключаясь между ними, чтобы посмотреть на одну школу моделирования глазами другой. Картину мы увидим фрагментарную — это неизбежно, поскольку единой точки отсчета у нас нет. К тому же в ней будет дано в обобщенном виде подразделение методологий на течения, ведь само наше описание представляет собой упрощенную модель реальности. Наконец, не стоит забывать, что мы не претендуем на абсолютную объективность, хотя искренне стараемся быть беспристрастными. И даже если обсуждение, которое мы приводим далее, не позволит приверженцам разных подходов достичь взаимопонимания, то, по крайней мере, независимые наблюдатели смогут вникнуть в то, что говорит каждая из сторон и как она понимает слова конкурирующей школы.

Как говорил Томас Кун, проблемы начинаются уже при составлении списка вопросов, поддающихся решению. Специалисты по системной динамике и эконометристы, ведомые разными парадигмами, видят разные проблемы и демонстрируют разное понимание социально-экономических систем. Например, специалист-системщик, столкнувшись с процессом разрастания городов, который показан на рис. 2.11, немедленно уловит общие динамические черты и начнет искать характерную причинно-следственную структуру, которая порождает

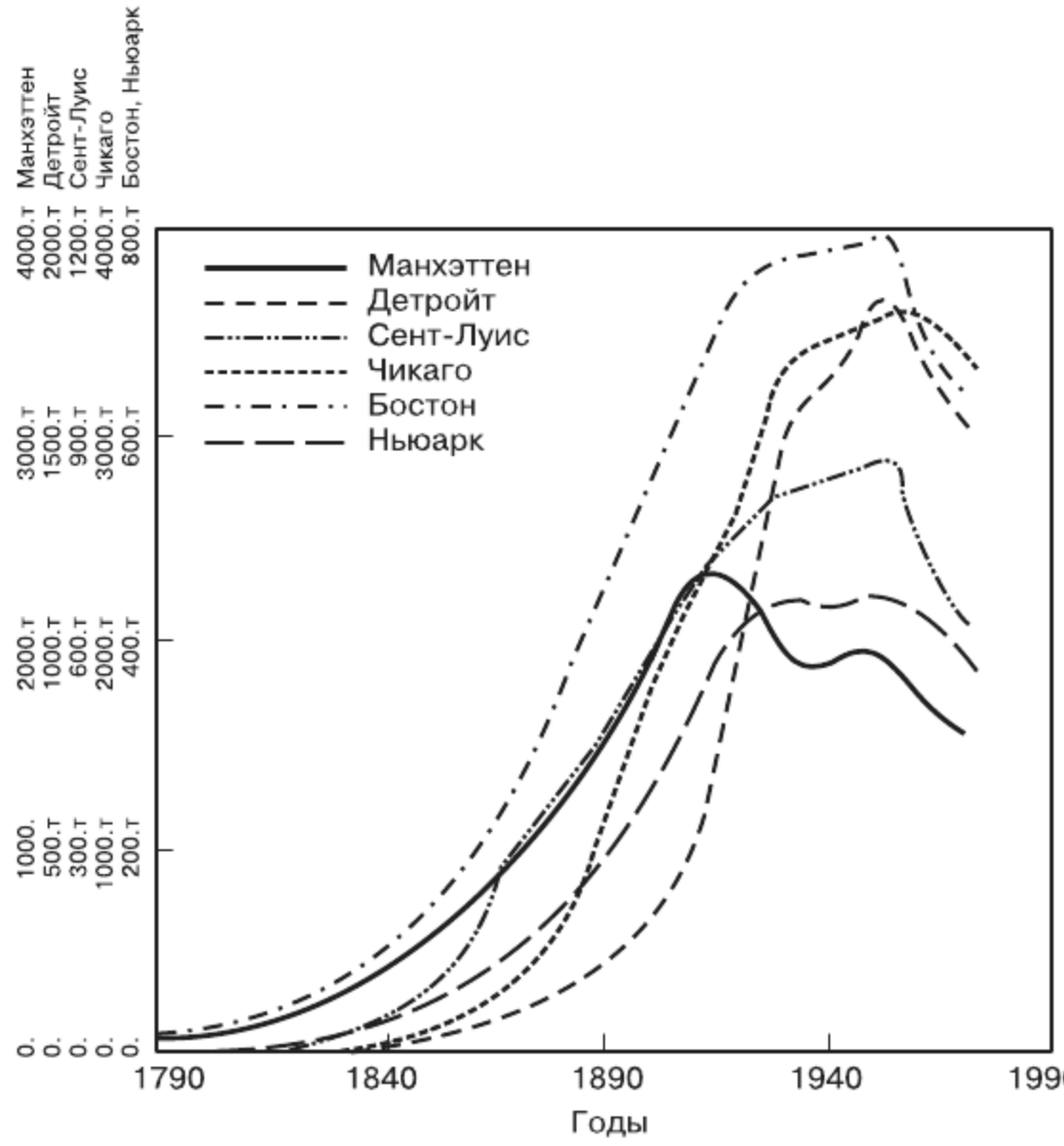


Рис. 2.11. Кривые, описывающие рост численности населения в старейших городах США. Данные приводятся с разрешения издательства Массачусетского технологического института из работы: *Forrester J.W.*, *Mass N.J.* Urban Dynamics: a Rejoinder to Averch and Levine // *Schroeder W.W.*, III, *Sweeney R.E.*, *Alfeld L.E.* (ред.). Readings in Urban Dynamics. Vol. 2. Cambridge, Wright-Allen Press, 1975. С. 21.

рост и вызывает застойные явления во всех перечисленных городах. (Уже для того, чтобы нарисовать такой рисунок, необходимо обладать системно-динамическим ви́дением.) Эконометрист, скорее всего, заметит различия между данными по городам и задастся вопросом, почему максимум численности населения в Сент-Луисе ниже, чем в Нью-Йорке, и какой будет численность населения в Чикаго в 1990 г. Все эти вопросы логичны и имеют право на существование, ответы на них полезны для принятия самых разнообразных решений. Вот только каждая школа моделирования стремится представить вопросы другой стороны не только не имеющими значения, но и принципиально неразрешимыми...

Эконометристы, по-видимому, уверены, что полезная информация может быть только точной, а если какие-то данные или представления

имеют размытый или качественный характер, то они не заслуживают внимания. Мечта любого эконометриста — просчитать и оценить будущее в точных цифрах. И он не видит смысла в неоднозначных, долговременных, качественных, а не количественных сценариях, которые выдают системно-динамические модели. Ему не особенно интересно знать, что система склонна к росту или колебаниям — требуется точно определить, когда будет следующий поворотный пункт и составит ли рост 6,5% или 7,0% в годовом выражении.

Чтобы добиться максимально возможной точности, эконометристы используют статистические методы (которым требуются базы данных, накопленных за предыдущие периоды), линейные уравнения и преимущественно открытые, незамкнутые структуры в модели. Они осознают, что для более отдаленного будущего данные становятся все менее надежными, поэтому в эконометрике считается, что долговременные перспективы невозможно моделировать в принципе.

Специалисты по системной динамике, напротив, считают все попытки добиться наивысшей точности в социальном прогнозировании напрасной тратой времени. Они уверены, что для человечества вообще характерен некоторый фактор неопределенности, это неизбежно влияет на социальные системы и делает возможным только качественное, поведенческое прогнозирование, даже для обобщенных систем, где неопределенность можно в какой-то степени нейтрализовать за счет усреднения. Поэтому специалисты-системщики искренне недоумевают, зачем эконометристы тратят столько усилий, чтобы получить все более и более точные оценки и выполнить расчеты до шести или семи значащих цифр. Это тем более непонятно, если учесть, что существует масса внешних факторов, которые надо установить заранее. Для специалиста по системной динамике все это выглядит как преобразование одной неопределенности в другую, одного набора ненаучных догадок в другой, столь же неопределенный, но при этом результаты приобретают наукообразный вид за счет кажущейся точности вычислений...

Специалисты по системной динамике из собственной теории системного поведения должны знать, что наиболее обобщенные системы обладают некоторой инертностью, поэтому в краткосрочной перспективе относительно простые структурные построения эконометристов вполне корректны и дают обоснованные результаты. Однако специалисты-системщики стремятся отвергнуть не только возможность краткосрочных прогнозов, но и само предположение о полезности такого временно́го диапазона. С системно-динамической точки зрения, раз краткосрочный период уже определен и не будет существенно изменяться, значит, он не представляет никакого интереса. Более того, теория системной динамики гласит, что стратегии, разработанные ради выгоды в краткосрочной перспективе, часто приводят к боль-

шим потерям в более отдаленном будущем. Поэтому разработчики таких моделей не поощряют интерес заказчиков к краткосрочным результатам.

Столь отличающиеся представления о том, какие виды информации о будущем полезны, а какие нет, вытекают из разных основных предположений о природе социальных систем. Эконометристские представления отражают взгляды, принятые в мире политиков, о том, что мир обладает двойственным характером и незамкнутостью. Между экономикой и окружающей средой проводится жесткая граница, все элементы рассматриваются по отдельности: правительство, погода, арабские страны, потребители, инвесторы, любые другие факторы... Из окружающей среды поступают конкретные сигналы, на которые система дает конкретный отклик. Каждая система, сигнал и отклик на него могут быть уникальны, поэтому различиям и частностям каждой ситуации надо уделять гораздо больше внимания, чем общим факторам и сходству. Лучший подход к стратегии — предвидеть ближайший набор точных сигналов и быть готовым дать на них оптимальный ответ. Такое мировоззрение поощряет вопросы о конечном состоянии, но не рассматривает пути, которыми можно прийти к этому состоянию, и сосредоточено на частных характеристиках системы в определенных условиях.

1. Если расценки на природный газ в текущем году регулироваться не будут, на каком уровне установится рыночная цена? Какими будут объемы непредвиденной прибыли у газовых компаний?
2. На сколько процентов придется увеличить налог на доходы, чтобы уменьшить текущий уровень инфляции на 2%? Как это повлияет на уровень безработицы?
3. Сколько пшеницы будет произведено на территории США в следующем году при обычных погодных условиях, сохранении текущих цен на удобрения и предоставлении субсидии в размере 5 центов на каждый центнер зерна? Если экспорт не будет ограничен никакими запретительными мерами, то какой будет цена пшеницы на внутреннем рынке?

Специалисты по системной динамике, в отличие от эконометристов, считают структуру систем преимущественно замкнутой. Не только окружающая среда влияет на экономику, но и экономика воздействует на окружающую среду. На самом деле граница между системами и их окружением редко бывает четкой и однозначной, за исключением некоторых очевидно внешних факторов вроде излучения Солнца, поступающего на Землю. Основное внимание уделяется общему отклику системы на возмущения и динамическому пути, по которому пойдет система, а не ее конечному состоянию.

> Системная динамика... признает наличие внешних факторов, однако просто учитывает их и не уделяет этому вопросу основное внимание... Вместо этого она сосредотачивается на изучении *внутренней структуры* организации, на том, как сделать ее... более *устойчивой* к внешним возмущениям. Приняв такой подход, системная динамика поставила во главу угла организм. Именно его, а не прогнозирование. И тогда все силы можно направить на то, чтобы организм был готов к наступлению любых внешних обстоятельств, чтобы он пребывал в равновесии и устойчивости, в состоянии *общей готовности* ко всему, что только может произойти[58].

Такой взгляд на природу систем приводит к совершенно другому набору вопросов.

1. Если цена на природный газ регулироваться не будет, как это отразится на общем расходовании запасов природного газа США, сроке, на который их хватит, и постепенном переходе на новые виды топлива?
2. Каковы основные положительные циклы обратных связей, вызывающие инфляцию? Какие отрицательные петли обратных связей необходимо внести в экономическую систему, чтобы скомпенсировать их влияние, но чтобы при этом не начался рост безработицы?
3. Почему производство пшеницы сильнее колебалось за последние 5 лет, чем за предыдущие 15? Какие меры — прямая поддержка цен, увеличение резервных запасов или рост экспорта — позволят стабилизировать производство, чтобы при этом не повышались потребительские цены?

Никто не может сказать, какие вопросы важнее, — те, что формулируют эконометристы, или те, что ставят специалисты по системной динамике. Однако они четко показывают разницу в представлениях о причине социальных проблем и в предлагаемых способах решения.

После того как каждая из школ выбрала свою проблемную область и объявила задачи конкурирующего течения неправильными и невыполнимыми, эконометристы и специалисты по системной динамике взялись за решение своих проблем с помощью принципиально разных методов. Эти различия очень глубоки и уходят корнями в противоборствующие теории познания. Вероятно, обе стороны согласятся, что природа мироздания и особенности человеческого восприятия позволяют нам непосредственно наблюдать некоторые явления, возникающие из-за недоступных взору причин и стимулов, событий и взаимосвязей. О наличии таких скрытых причин мы можем судить по собственному жизненному опыту, но на его основе измерить их невозможно, равно как и сопоставить личный опыт одного наблюдателя

с опытом другого. Расхождения начинаются уже тогда, когда мы решаем, какую часть двухслойного мира отразить в модели.

Эконометрика прочно опирается на наблюдаемую реальность. Эконометристы могут (и постоянно это делают) свободно спекулировать на тему невидимых психологических и физических движущих сил, выводить фундаментальные причинно-следственные теории из экономики — парадигмы, из которой эконометрика родилась и на которой выросла. Однако их модели должны в явном виде содержать не то, что они испытали по опыту, а то, что они точно знают. При этом парадигма эконометрики гласит, что точно знать можно только то, что поддается численному измерению. В результате модели отражают только наблюдаемые и измеряемые явления. Подразумевается, что в их основе лежит некая причинно-следственная взаимосвязь, но четких представлений о ее природе нет. Это может быть сеть обратных связей, набор не связанных между собой случайных сил, сочетание того и другого... Какой бы ни была лежащая в основе структура, ее природа и ее связь с наблюдаемыми явлениями могут случайным образом меняться или полностью пересматриваться. По этой причине в уравнения приходится добавлять поправку на случайные факторы, вектор ошибок. Чтобы убедиться, что система ведет себя так же, как и в прошлые периоды, нужно постоянно вести наблюдения и собирать данные. Эконометристы всегда жаждут больше численной информации, стремятся к большей точности, нуждаются в свежих обновлениях и доступе к базам данных.

При этом специалисты по системной динамике считают, что измеряемые события составляют лишь малую толику того, что поддается изучению. Они с удовольствием погружаются в самые глубины невидимых событий, вооружившись теориями, которые помогают им связать видимые динамические изменения в системах с невидимой структурой обратных связей. Они пытаются угадать структуру, напоминая в этом эконометристов, однако их догадки включены в модели в явном виде. Специалисты-системщики ищут общие взаимосвязи, действующие всегда, независимо от времени, и не привязанные к одной конкретной системе или отдельному временно́му периоду. Поэтому они могут использовать информацию, относящуюся к любой подсистеме, за любое время, из разных источников, включая, кстати говоря, и статистические данные, выдаваемые эконометрическими моделями. Однако предпочтение в системной динамике все-таки отдается непосредственным, пусть и качественным, наблюдениям за физическими процессами и принятыми решениями, а не сводным численным показателям, характеризующим социальную систему.

Специалисты по системной динамике оперируют несколькими разновидностями информации, от той, что получена в результате интуитивных озарений, догадок и разовых наблюдений за реальной жизнью, до весьма точных, управляемых физических измерений.

Социальная статистика в этом ряду занимает промежуточное положение. Специалисты-системщики уверены, что такое разнообразие средств дает гораздо больше информации, чем используется на самом деле, и что потребность заключается вовсе не в дополнительных данных, а в более разумном использовании уже имеющихся. Они отмечают, что эконометристы сами себе связывают руки, используя только социальную статистику, ведь в ней нет ни слова о действующих стратегиях, целях, страхах или ожиданиях системы. В таких условиях едва ли возможно узнать, *как* работают социальные системы.

Два этих разных подхода к интерпретации информации и ее использованию приводят к бесконечным и совершенно безрезультатным дискуссиям с позиций разных парадигм о том, что важнее — структура или численные параметры. Эконометристы, вероятно, тратят 5% своего времени на описание структуры модели и 95% на оценку параметров. Специалисты по системной динамике — наоборот. Они считают, что долгосрочные модели на основе обратных связей покажут огромные отклонения, если хотя бы одну последовательность зависимостей оставить незамкнутой, но при этом системы поразительно устойчивы к изменениям отдельных параметров. Специалист, поработавший с такими моделями, искренне удивляется, что кто-то может тратить столько времени на точное определение коэффициентов, особенно если учесть, что они — часть незамкнутой модели с линейной структурой.

Эконометристы, между тем, считают, что разница в темпе роста между 6,5% и 7,0% весьма существенна, приводит к принципиально иным результатам и потому очень важна для заказчика модели. Для них вольное отношение системной динамики к точным данным выглядит безответственным и внушающим тревогу. Более того, поскольку парадигма эконометрики не признает иного пути в определении параметров модели, кроме статистической обработки данных, ее сторонники не могут себе даже представить, как системно-динамические модели вообще можно измерить количественно. Раз цифры не получены признанным путем, через статистические методы, значит, они не имеют никакой ценности, они выдуманы, высосаны из пальца.

Разногласия по поводу структуры и параметров проявляются еще и в частых жалобах эконометристов на то, что «специалисты по системной динамике намеренно создают свои модели так, чтобы получить желаемые результаты». Системщики действительно имеют обыкновение заранее указывать, какое динамическое поведение они ожидают увидеть, — это делается при первичном тестировании достоверности. И они обладают определенными знаниями о том, какие структуры порождают то или иное типовое поведение. Однако построить сложную динамическую имитационную модель таким образом, чтобы она выдала именно желаемое поведение, на самом деле очень трудно, особен-

но в тех системах, структура которых замкнута. К тому же парадигма при этом требует, чтобы все константы и переменные имели смысловое содержание, соответствующее реалиям мира, и не поощряет использование движущих функций, зависимых от времени. Кто хотя бы немного поработал с подобными моделями, придет к выводу о том, что эконометрическими моделями с их чувствительностью манипулировать гораздо проще. Поэтому специалисты по системной динамике отвечают на жалобы эконометристов так: «Дайте мне открытую систему с пятью непонятно откуда взятыми переменными и 40 внешними управляющими функциями, и я построю модель, которая продемонстрирует любое желаемое поведение». В заявлениях обеих сторон упускается самое главное: обе разновидности моделей имеют жесткие ограничения, но разных типов, и обе обладают чувствительностью, но тоже разной. Внимательный и дотошный разработчик в обоих методах моделирования столкнется с ограничениями реальной системы, которые не дадут ему сознательно манипулировать результатами, в то время как невнимательный и не связанный моральными принципами человек с поразительной легкостью подгонит результаты к желаемому виду. К сожалению, ни одна из областей моделирования не склонна к самокритике, не вознаграждает честность и не способна пресекать подобные манипуляции.

Разногласия имеются не только по поводу того, включать или не включать в модель количественно неизмеряемые параметры, но и по поводу численных значений и их источников. У этих двух школ моделирования принципиально разные представления о том, какие факторы наблюдаемой реальности следует включать в модель. Как мы уже видели, специалисты по системной динамике склонны видеть в системах и воспроизводить в моделях запасы и потоки. На самом деле, кроме них, они ничего другого и не видят (этот аргумент неизменно озвучивается во время обсуждения парадигм, когда стороны пытаются уязвить друг друга).

Если посмотреть на классические экономические модели, можно заметить, что они очень внимательно отслеживают потоки денежных средств и особенно обеспокоены их согласованностью. Предложение должно быть равно спросу, продажи должны быть равны выручке, сбережения должны быть равны инвестициям и т. д. Равенство потоков — краеугольный камень, на котором построены все экономические модели.

Однако в мире реальной экономики принципиально невозможно поддерживать равенство потоков во все моменты времени. Товар не привозят в магазин в тот самый момент, когда на пороге появляется покупатель, желающий его приобрести. Поэтому в модель вводят понятие запаса, складского хранения, и это позволяет потокам быть неравными. Потребитель получает зарплату не в ту же секунду, когда решит делать покупки. И здесь появляются разные запасы, от карманных денег и суммы на счете в банке

до различной формы одалживания и кредитов, все это позволяет потоку расходов отличаться от потока доходов. На какую экономическую систему ни посмотри, везде присутствуют запасы, которые позволяют потокам быть не равными друг другу.

Когда я с волнением сообщил о своих наблюдениях друзьям-экономистам, они заверили меня в том, что давно знают это. А когда я спросил, почему же в их моделях нет запасов, дали три ответа.

1. В экономических системах запас относительно неизменен со временем, поэтому он не имеет особого значения и не влияет на интересные изменения потоков, которые мы хотим изучить.
2. Запасы пренебрежимо малы в сравнении с потоками, особенно если потоки измеряются за принятый экономический учетный период — один год.
3. В любом случае, математически несложно добавить запасы в существующие экономические модели, но причин делать этого нет, поскольку ничего нового при этом мы не узнаем.

С моей же точки зрения, в неизменности запасов нет ничего удивительного потому, что экономика вся построена на *петлях обратной связи, чтобы стабилизировать запасы*. Держатели складов поднимают цены на продукцию, если товаров остается мало, и снижают цены, если склады переполнены. Фермеры берут кредиты, если уровень их задолженности невысок, и отказываются занимать больше, если долг становится слишком велик. При одних и тех же доходах потребители будут приобретать товары в совершенно разном количестве, в зависимости от того, есть у них сейчас сбережения и собственность или они обладают малыми средствами (послевоенные годы наглядно это продемонстрировали). Если считать, что все эти процессы идут словно по часам, запасы действительно будут меняться очень незначительно. Но это вовсе не означает, что запасы не оказывают никакого влияния и не важны для объяснения экономических изменений. Напротив, это означает, что *именно запасы определяют практически все экономические решения. Затем по значимости идут ограничивающие факторы, и они, как правило, тоже представляют собой запасы*.

Представлять экономические системы без запасов — примерно то же самое, что описывать работу системы отопления и регулятора без такого показателя, как температура в помещении. Между тем, именно температура в помещении используется как сигнал, по которому запускается или останавливается работа нагревательного оборудования. Если система работает эффективно, температура в комнате меняется незначительно, в пределах пары градусов. Однако этим незначительным изменениям соответствуют гораздо большие изменения в потоках тепла, поступающих от нагревателя. И хотя суммарное количество теплоты в помещении (например, в килокалориях) в любой момент очень невелико относительно годового потока тепловой энергии от нагревателя, тем не менее температура в комнате — критически важный фактор, определяющий поведение системы.

Экономисты, сдается мне, очень много времени тратят на то, чтобы найти взаимосвязи между потоками — между спросом и предложением,

потреблением и доходами, инвестициями и валовым национальным продуктом. С моей точки зрения, дело это совершенно бесполезное, потому что *связей между потоками на самом деле нет*. В примере с системой отопления принципиально невозможно установить статистически достоверную связь между потоками. Поступление тепла — функция от разности между температурой в комнате и настройкой регулятора. Потери тепла зависят от разности температур внутри помещения и снаружи. В зависимости от этих температур и настроек регулятора, соотношение между потоками поступающего и теряемого тепла может быть практически любым. Оно может в любой момент измениться и стать совершенно другим.

Разумеется, если система работает хорошо, если температура в комнате относительно неизменна, наблюдатель может ошибочно заключить, что ему удалось установить четкую зависимость между потоками. Но его ошибка станет очевидной сразу же, как только система изменит свое состояние и значение запаса (температура в помещении) начнет меняться. А ведь это *тот самый момент, когда понимание системы вам жизненно необходимо*! Вспомните 1973 г., когда все экономические зависимости оказались совершенно бесполезны — основанная на запасе система изменила состояние, и вся экономика оказалась в условиях кризиса.

При всем уважении к коллегам, я не могу согласиться с тем, что запасы можно не включать в модели, заявляя в качестве оправдания, что они редко изменяются или что изменения незначительны в сравнении с годовой суммой потоков. Если сравнивать их изменения с суммой потоков за тысячу лет, они покажутся еще меньше! Не могу согласиться и с третьим ответом, который дали экономисты, что запасы можно без особого труда включить в состав моделей. Сами запасы — да, возможно; но решения, основанные на них, — нет, поскольку об этом мы знаем слишком мало. Таких знаний мало не потому, что их невозможно получить, а потому, что мы просто не уделяли этому вопросу должного внимания[59].

После того как каждый разработчик посвятил некоторое время проблемам, которые принципиально нельзя решить в рамках конкурирующей школы, и сделал из этого совершенно неправильные выводы, непонимание между течениями моделирования усугубляется. А когда дело доходит до проверки правдоподобия и достоверности, неприятие становится полным. Любая модель заведомо не соответствует критериям другой школы. Эконометристы тратят много времени, выясняя, откуда получены цифры, использованные специалистами по системной динамике. Им необходимо оценить результаты, но нет статистических данных, на основе которых можно было бы сделать это. Неприменимы ни t-критерий Стьюдента, ни квадратичные методы, использующие коэффициент детерминации R^2, ни критерий Дарбина-Уотсона. Эконометрист никогда не сможет рассчитать сводные статистические показатели для системно-динамической модели, поскольку в ней множество ковариаций и коллинеарностей, к тому же для большинства переменных просто нет накопленных фактических данных для сопоставления.

Специалист по системной динамике, который считает, что сводная статистика вводит в заблуждение и не имеет смыслового содержания, пытается найти в эконометрической модели отдельные причинно-следственные связи, соответствующие реальности, и выявить динамическое поведение системы. А находит вместо этого линейности, внешние движущие переменные и, что хуже всего, непонятно откуда взятые параметры, явно зависящие от времени. В соответствии с парадигмой системной динамики это жульничество высшей пробы. Несколько обратных связей, которые обнаружатся в модели, скорее всего, будут положительными, что должно привести модель, как известно любому системщику, к крайним, абсолютно нереальным состояниям, если прогноз заглянет хотя бы на пару лет вперед.

Даже искренние попытки понять методы оценки, которые использует другая школа моделирования, превращаются в мешанину аргументов, которыми обмениваются стороны. Для примера можно привести фрагмент беседы между специалистом по системной динамике и двумя представителями математической экономики, причем в ней участники искренне старались понять друг друга, но это все равно ни к чему не привело.

Ховард: В своей научной области мы привыкли видеть на графиках одну кривую с обозначением «расчетная» и другую, представляющую фактические данные. Эти графики можно сопоставить друг с другом и дать заключение: этот вариант хорош, этот неприемлем и т. п. Есть ли какие-то причины, по которым вы… не можете взять данные по фактическим продажам, производству и наполняемости складов за какой-то период, использовать вашу модель, чтобы получить расчетные графики для продаж, производства и наполняемости складов за тот же период, и сопоставить их друг с другом?

Форрестер: Да, действительно, есть причины, чтобы этого не делать… Предположим, вы возьмете две модели, абсолютно одинаковые по структуре и с теми же параметрами, однако с разными случайными составляющими в их механизме принятия решений. Если вы запустите эти модели при одинаковых начальных условиях, а потом посмотрите результаты, то увидите, что поведение станет совершенно разным практически с самого начала расчетного периода. В таких условиях абсолютно невозможно предсказать, что произойдет в какой-то конкретный момент. При этом численные рабочие характеристики моделей будут очень похожими. Например, в обеих моделях они будут постоянными или, наоборот, нестабильными… Поэтому прогнозирование должно заниматься не частными событиями, не конкретной формой графиков за прошлые периоды, а изменениями в рабочих характеристиках системы. Прогнозировать изменение в прибыльности, стабильности рынка рабочей силы, другие подобные параметры. Тест, который вы предложили, — сравнение фактических данных за прошлые периоды с тем, что выдает модель, — не даст вам нужной информации, поэтому его не следует использовать, хотя в действительности многие пытались применить такой подход к экономическим моделям.

Ховард: Но, наверное, все же существуют какие-то численные оценки, которыми вы определяете, насколько модель хороша? Как оценивать ваши модели, если вы говорите только «она имеет такое же качественное поведение»? Мы смотрим на один и тот же период в результатах имитационного моделирования, и я вам говорю, что он совсем не похож на то, что происходило на самом деле, а вы мне говорите, что похож. Вы утверждаете, что ваша модель не может воспроизвести фактические данные по продажам, поскольку на систему влияют случайные факторы. Все, что мы можете сделать, — получить сигнал, который имеет такие же рабочие характеристики, что и фактические данные. С моей точки зрения, такое утверждение бессмысленно... Можем ли мы прийти к единой количественной оценке того, что составляет «такие же рабочие характеристики»?

Форрестер: Это очень сложный вопрос, если пытаться ответить на него абстрактно. Однако в данном случае на него нужно отвечать не с позиций строгого численного анализа или каких бы то ни было процессов, происходящих в реальной жизни. Вы пытаетесь применить к нашей области методы, которые не используются и в некоторых других областях человеческой жизни, — например, в медицине, юриспруденции, прикладных инженерных задачах. Вы требуете большей точности в области, где на самом деле математической точности нет изначально. Я не спорю, что она была бы желательна. Я утверждаю, что на данный момент ее нет, и мы пока не имеем способов, чтобы ее получить. Даже в тех случаях, когда тесты статистических моделей говорят о хорошей точности, с моей точки зрения, это создает ложное впечатление, потому что у этой точности весьма сомнительные основания.

Хольт: Очень интересно сопоставить готовность профессора Форрестера оценить некоторые структуры при создании модели как «целостные» с его нежеланием принять количественные методы оценки моделей для их проверки. Несмотря на то что для таких переменных, как уровень занятости, доступны *количественные* данные (причем они есть и по фактическому изменению занятости в компании, и по расчетам модели), тем не менее он делает *качественные* заключения о схожести и правдоподобности[60].

(Беседа воспроизводится по разрешению Массачусетского технологического института, полученному от Гринбергера[60] и Форрестера[8].)

Могут ли два столь различающихся взгляда на моделирование социальных систем уживаться в одном человеке? Смогут ли они ужиться во всей области моделирования? Или, как полагает Томас Кун[1], одна парадигма в конце концов полностью вытеснит другую?

Некоторые специалисты считают, что системная динамика и эконометрика могут дополнять друг друга в подготовке разработчиков моделей и что такие случаи уже встречались. Среди специалистов по системной динамике, безусловно, встречаются те, кто использует статистические методы для определения параметров модели, а в эконометрических моделях появляется все больше нелинейных зависимостей, распределенных задержек и запаздываний, замкнутых обратных связей. Однако эти примеры — не более чем заимствование

некоторых методик из конкурирующей школы. Это вовсе не свидетельствует о качественном скачке в мировоззрении. Если задача, которую должна решить модель, касается в основном статического положения с конкретизированными откликами на строго определенные события, если переменные поддаются прямому наблюдению, если для подтверждения достоверности модели требуется соответствие фактическим данным, накопленным за прошлые периоды, если между запасами и потоками не проводится четкое разграничение, тогда работа попадает в рамки эконометрической парадигмы. И не имеет значения, каковы ее математические характеристики или на каком языке написана программа. Если вопрос состоит в общем динамическом поведении системы с преимущественно замкнутой структурой, если в число переменных входят цели и стимулы, если достоверность модели оценивается по правдоподобности ее структуры, то работа относится к сфере системной динамики. И мы не можем даже представить себе, как две столь разные философии могли бы слиться или сочетаться в одной модели, несмотря на то что определенные методические процедуры, сформировавшие эконометрику и системную динамику (или наоборот, сформированные ими), могут заменять друг друга.

Противостояние системной динамики и эконометрики может привести к такому же результату, как межвидовая конкуренция в экосистеме. В соответствии с принципом конкурентного исключения, два вида, занимающих одинаковую экологическую нишу, не могут сосуществовать в экосистеме продолжительное время. Один вид непременно победит и вызовет исчезновение другого — именно поэтому Кун предсказывал, что одна научная парадигма в конечном счете обязательно подавит другую и изгонит ее из признанной научной практики.

Однако в экосистеме доступны *разные ниши*. Вид может сдать свои позиции в одной нише и отыграться в другой. Эконометрика и системная динамика определенно занимают разные ниши в моделировании и в среде принятия решений. В краткосрочной перспективе системное поведение определяется решениями и событиями, которые уже произошли и последствия которых распространяются в системе с запаздываниями — дома строятся не за один день, дети растут не за один год, заказы делаются, долги выплачиваются. Продолжительность краткосрочного периода в любой системе определяется величиной ключевых задержек — это времяопределяющие факторы. В течение этого периода новые стратегии не дадут практически никакого эффекта, при этом довольно точные прогнозы вполне можно делать по «накатанному пути», за счет инертного поведения системы. В этой нише, где специалисты могут делать прогнозы, но не могут влиять на систему, царит эконометрика. Однако в долговременной перспективе поведение системы можно изменить. И поскольку такие изменения действительно возможны, точное и безусловное прогнозирование выполнить

уже нельзя. За столь продолжительный период обратные связи успевают замкнуться, и внимание нужно уделять управлению системой, ее строению как целому, ее обобщенному отклику на возможные изменения. Эта ниша принадлежит системной динамике. Пока будут нужны и точные краткосрочные предсказания, и долговременные системные изменения, как системная динамика, так и эконометрика будут востребованы. Вероятно, настороженность и враждебные отношения между ними при этом никуда не исчезнут — по крайней мере, до тех пор, пока один из конкурентов не победит другого окончательно.

2.6. Заключение

Все школы моделирования имеют в своей основе определенные представления о том, как устроен мир. И если такие положения не сформулированы явным образом, то они могут одновременно способствовать глубокому пониманию и вызывать большие сомнения. Каждая школа — своеобразный оракул, предназначенный для определенного вида предсказаний о будущем. Вот, к примеру, краткие описания представлений, лежащих в основе четырех методов, которые мы рассмотрели в этой главе.

1. Системы имеют внутреннюю структуру, в которой время не отражено, но которая со временем порождает наблюдаемое поведение. Системы состоят из физических запасов и потоков. Ими управляют решения, которые принимаются на основе информации о запасах (зачастую искаженной, неполной, поступившей с запаздыванием). Можно знать структуру системы и знать типы поведения, характерные для такой структуры, но из-за неизбежных факторов случайности нельзя предсказать точное значение запасов и потоков в какой-либо момент времени в будущем. Специалист должен стремиться воссоздать структуру системы как можно точнее, чтобы увеличить правдоподобие ее поведения, но это не позволяет делать точные прогнозы или как-то готовиться к принципиально неизвестным условиям, которые наступят в будущем.
2. Системы состоят из миллионов отдельных решений; их совокупный эффект связан через понятия бухгалтерского учета и поведенческие взаимосвязи, которые со временем могут меняться. Определить эти взаимосвязи, суммируя все отдельные действия или учитывая их стимулы, нельзя, но зато можно вывести их на основе совокупного эффекта, наблюдавшегося в прошлые периоды. Статистические методы позволяют выявить и очень точно описать не только наблюдавшиеся в прошлом взаимосвя-

зи, но и влияние на них случайностей и неточностей. На основе таких данных можно делать точные, но краткосрочные прогнозы либо формулировать условные предсказания о будущем.

3. Системы состоят из процессов преобразования, составляющих переплетающиеся последовательности. В каждом процессе есть набор данных по расходам (затратам) и ряд результатов (объем выпуска). Результаты одного процесса могут использоваться как затраты в другом. По совокупности все затраты приходятся на природные ресурсы, в то время как весь выпуск в итоге достается потребителям, и в этих точках применение бухгалтерского учета заканчивается. Связь между затратами и выпуском для каждого отдельного процесса преобразования зависит от технических изменений, носящих внешний характер. Все затраты и весь выпуск имеют вещественное воплощение и поэтому доступны для наблюдения и изучения. Обладая подобными данными, специалист может подробно описать последовательности и цепочки роста в системе, с учетом совершенствования технологий или без него, с желаемыми изменениями в итоговом выпуске по видам продукции.

4. Любая система может иметь практически бесконечное множество конфигураций или состояний. Существует ряд ограничений, которые отсекают многие из таких состояний как невыполнимые или нереальные. Также существует четко сформулированная цель или ряд целей, которые позволяют ранжировать состояния системы с точки зрения их желательности. Возможные состояния, ограничения и цели заданы в явном виде и не изменяются за время, в течение которого выполняется моделирование и реализуется выбранная стратегия. План действий выбирают таким образом, чтобы он привел систему в желаемое состояние, которое наилучшим образом соответствует поставленным целям.

Каждый из перечисленных методов полагает, что *какой-то* аспект системы принципиально поддается познанию и численной оценке. Кроме того, каждый метод обладает определенными представлениями о том, что желательно, что хорошо, однако только оптимизация требует формулировать цели в явном виде. Эконометрика ведет детальный учет факторов случайности и неизвестности, присущих системе. Системная динамика учитывает существование случайных факторов в своей теории познания, но не пытается численно оценить их, а межотраслевой баланс и оптимизация вообще не упоминают такое понятие. Все эти методы утрачивают четкость и заслуживают меньше доверия при существенном усложнении и расширении систем, при увеличении долгосрочности прогнозирования, при отклонении изменений

от того, что наблюдалось ранее. Другими словами, все перечисленные методы с легкостью описывают системы, которые существуют или существовали раньше. Описывать системы, которые *могут существовать*, гораздо сложнее. Хотя приведенные методы моделирования заполняют весь диапазон в процессе принятия решений, от этапа общего понимания до подробной проработки и реализации, они разрозненны по сферам применения. Большинство из них *предполагают* довольно глубокое понимание систем и точное измерение их показателей, но это скорее желаемое, чем действительное.

Каждая школа моделирования определяет собственный взгляд на мир и предлагает собственный инструментарий для решения проблем некоторых типов. Ни одна из них не в состоянии охватить всё, что в мире поддается наблюдению, или решить все возможные проблемы. И разумеется, существует огромное количество наблюдений и проблем, которые вообще не решаются с помощью компьютерного моделирования. Создание моделей, безусловно, полезно для понимания, прогнозирования и управления сложными системами. Однако любой инструмент нужно применять по назначению и уметь им пользоваться. Моделирование не исключение. Необходимо учитывать области применения каждого метода, его возможности, ограничения и то, какое мировоззрение он вырабатывает у создателей моделей.

Ссылки на источники

1 Приводится по изданию: *Kuhn T.S.* The Structure of Scientific Revolutions. Second ed. Chicago: University of Chicago Press, 1970. С. 46—111.

2 *Maslow A.* The **Psychology of Science: a Reconnaissance. Chicago: Henry Reg**nery, 1966.

3 Ранее упомянутый источник: *Kuhn T.S.* С. 64—65.

4 *Peck G.* Two Kinds of Time. Second ed. Boston: Houghton Mifflin Company, 1967. С. 7—8.

5 *Schumacher E.F.* Small is Beautiful. New York: Harper & Row, 1973. С. 217.

6 *Goodman M.* Study Notes in System Dynamics. Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, 1974.

7 *Forrester J.W.* Collected Papers of Jay W. Forrester. Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, 1975. С. 215.

8 См. работу: *Forrester J.W.* Industrial Dynamics. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1961. Основные учебники по системной динамике: *Forrester J.W.* Principles of Systems. Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, 1968; ранее упомянутый источник: *Goodman M.*; *Roberts N.*, *Andersen D.F.*, *Deal R.M.*, *Garet M.S.*, *Shaffer W.A.* The **System Dynamics Approach. Reading, Mass.: Addison-Wes**ley Publishing Company, 1983; *Richardson G.P.*, *Pugh A.L.*, III. Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1981.

[9] См., например, книги: *Forrester J.W.* Urban Dynamics. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1969; *Hamilton H.R., Goldstone S.E., Milliman J.W., Pugh A.L., Roberts E.B., Zellner A.* Systems Simulation for Regional Analysis. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1969; *Forrester J.W.* World Dynamics. Cambridge: Wright-Allen Press, 1971.

[10] Пример такой доработанной модели можно посмотреть в издании: *Meadows D.L.*, The Dynamics of Commodity Production Cycles, Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, 1970.

[11] См. руководство: *Pugh A.L.* DYNAMO II User's Manual. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1973.

[12] *Forrester J.W.* Urban Dynamics. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1969.

[13] *Schantzis S.B., Behrens W.W.* Population Control Mechanisms in a Primitive Agricultural Society // *Meadows D.L., Meadows D.H.* (ред.) Toward Global Equilibrium. Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, 1973.

[14] *Mass N.J.* Economic Cycles: an Analysis of Underlying Causes. Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, 1975.

[15] *Budzik P.M.* The Future of Dairy Farming in Vermont. Master's Thesis. Thayer School of Engineering, Dartmouth College, Hanover, N. H., 1975.

[16] *Naill R.F.* Managing the Energy Transition. Cambridge, Mass.: Ballinger Publishing Company, 1977.

[17] Примеры статистически оцененных системно-динамических моделей приводятся в работах: *Weymar F.* Dynamics of the World Cocoa Market. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1968 и *Naill R.F.* Managing the Discovery Life Cycle of a Finite Resource: a Case Study of U.S. Natural *Gas. M.S.* thesis, MIT, 1972 (материалы можно получить в центре Resource Policy Center, Dartmouth College, Hanover, N. H.).

- Теоретическое обсуждение применения статистической оценки к системно-динамическим моделям приводится в работах: *Mass N.J., Senge P.M.* Alternative Tests for the Selection of Model Variables // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. SMC-8. 1978. № 6. С. 450—460; *Senge P.M.* The System Dynamics National Model Investment Function: a Comparison to the Neoclassical Investment Function. Ph.D. dissertation, MIT, 1978; *Peterson D.W.* Statistical Tools for System Dynamics // *Randers J.* (ред.). Elements of the System Dynamics Method. Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1980. С. 224—225.

[18] *Klein L.R.* The Use of Econometric Models as a Guide to Economic Policy // Econometrica. 1947. 15, 2.

[19] *Tinbergen J.* An Econometric Approach to Business Cycle Problems. Paris: Herman et Cie, 1937.

[20] Существует множество учебников по эконометрике. Вот лишь некоторые из них: *Johnson J.* Econometric Methods. New York: McGraw-Hill, 1963; *Goldberger A.S.* Econometric Theory. New York: Wiley, 1964; *Christ C.F.* Econometric Models and Methods. New York: Wiley, 1966; *Malinvaud E.* Statistical Methods of Econometrics. Amsterdam: North Holland Pub.Co., 1966;

Pindyck R.S., Rubinfeld D.L. Econometric Models and Economic Forecasts. New York: McGraw-Hill, 1981.

[21] Примеры общих представлений для экономики США приведены в литературе: *Klein L.R., Goldberger A.S.* An Econometric Model of the United States 1929—1952. Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1955; *Evans M.K., Klein L.R.* The Wharton Econometric Forecasting Model. Department of Economics. Wharton School, University of Pennsylvania, 1967; а также *Duesenbery J.S.* и др. The Brookings Quarterly Econometric Model of the United States. Chicago: Rand-McNally & Company, 1965.

[22] Приведенные здесь статические модели взяты из книги: *Cramer J.S.* Empirical Econometrics. Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1971. С. 107.

[23] См. работу: *Stojkovic G.* Market Models for Agricultural Products // *Wold H.O.A.* (ред.). Econometric Model Building. Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1964. С. 388.

[24] *Spann R.M., Erickson E.W.* Joint Costs and Separability in Oil and Gas Exploration // *Searl M.F.* (ред.). Energy Modeling. Washington, D.C.: Resources for the Future, март 1973. С. 212.

[25] *Hudson E.A., Jorgenson D.* U.S. Economic Growth: 1973—2000. Отчет «Long-Term Projections of the U.S. Economy». Lexington, Mass., Data Resources Inc., 1974. С. 161.

[26] См. статью: *Barr T.N., Gale H.F.* A Quarterly Forecasting Model for the Consumer Price Index for Food // Agricultural Economics Research. 1973. № 25, 1.

[27] *Hoffman R.G.* Wheat-Regional Supply Analysis. Отчет «The Wheat Situation», Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture, WS–225, выпущен в августе 1973 г.

[28] См. статью: *Modigliani F., Rasche R., Cooper J.P.* Central Bank Policy, the Money Supply, and the Short-Term Rate of Interest // Journal of Money, Credit, and Banking. 1970. № 2.; а также материалы: Equations in the MIT-PENN-SSRC Econometric Model of the United States, Board of Governors of the Federal Reserve System. Washington, D. C., 1973.

[29] *Cramer J.S.* Empirical Econometrics. Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1971. С. 102.

[30] *Streissler E.W.* Pitfalls in Economic Forecasting. Tonbridge: Kent, The Institute of Economic Affairs, 1970. С. 73—74.

[31] *Intriligator M.D.* Econometrics and Economic Forecasting // *Morley English J.* (ред.). Economics of Engineering and Social Systems. New York: Wiley-Interscience, 1972. С. 157.

[32] *Intriligator M.D.* Там же, с. 157.

[33] См. материалы: *Shourie A.* The Relevance of Econometric Models for Medium and Longer-Term Forecasts and Policy Prescription. International Bank for Reconstruction and Development, статья отдела экономики № 75, 6 мая 1970, с. 58.

[34] См. статью: *Leontief W.* Input-Output Economics // Scientific American, 185. 1951. № 4. С. 15.

[35] *Newman P.C.* The Development of Economic Thought. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1952. С. 34—40.

[36] См. статью: *Leontief W.* Quantitative Input-Output Relations in the Economic System of the United States // The Review of Economics and Statistics. 1936. № 18. С. 105.

[37] *Bottomley A.* University of Bradford, England, информация получена в частной беседе.

[38] См., например, работу: *Leontief W.* Environmental Repercussions and the Economic Structure: an Input-Output Approach // Review of Economic Statistics. 1970. № 52. С. 262.

[39] Этот пример взят из работы: *Leontief W.* Input-Output Economics. New York: Oxford University Press, 1966. С. 135.

[40] *Almon C.* The American Economy to 1975. New York: Harper & Row, 1966.

[41] *Lofting E.M., McGauhey P.H.* Economic Evaluation of Water. Part III, An Interindustry Analysis of the California Water Economy // Water Resources Center, Berkeley: University of California, 1963. № 67.

[42] *Leontief W., Morgan A., Polenske K., Simpson D., Tower E.* The Economic Impact-Industrial and Regional-of an Arms Cut // *Leontief W.* Input-Output Economics. New York: Oxford University Press, 1966. С. 184.

[43] *Herendeen R.A., Bullard C.W.*, III. Energy Cost of Goods and Services, 1963 and 1967. Center for Advanced Computation, University of Illinois, Urbana 61801. Материал № 140, ноябрь 1974 г.

[44] *Dantzig G.B.* Linear Programming and Extensions. Princeton: Princeton University Press, 1963. С. 1 (выделение автора).

[45] См., например, работы: *Converse A.O.* Optimization. New York: Holt, Rinehart & Winston, 1970; *Mickle M.H., Sze T.W.* Optimization in Systems Engineering. Scranton, Pa.: Intext Educational Publishers, 1972.

[46] Пример взят из учебника: *Daellenbach H.G., Bell E.J.* User's Guide to Linear Programming. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1970.

[47] См., например, материалы: *Oerlemans T.W.* и др. Dynamic Optimization of World 2. Project Globale Dynamics, Technische Hogeschool Eindhoven, Eindhoven, Netherlands, 1972; *Bruno M.* A Programming Model for Israel // *Adelman L., Thorbecke E.* (ред.). The Theory and Design of Economic Development. Baltimore: Johns Hopkins Press, 1966; *Chenery H.B., MacEwan A.* Optimal Patterns of Growth and Aid, The Case of Pakistan // Pakistan Development Review. 1966. VI, (2). С. 209.

[48] *Nordhaus W.D.* The Allocation of Energy Resources // *Okum M., Perry G.L.* (ред.). Arthur Brooking's Paper on Economic Activity. Vol. 3. Washington, D.C.: The Brookings Institute, 1973. С. 529.

[49] *Balinsky W.L.* Educational Models for Manpower Development // Technological Forecasting and Social Change. 1976. 8. С. 309.

[50] *Goreux L.M., Manne A.S.* Multi-level **Planning: Case Studies in Mexico. Amsterdam:** North Holland Publishing Co., 1973.

[51] *Kendrick D.A.* Systems Problems in Economic Development // *Morley English J.* **Economics of Engineering and Social Systems. New York: Wiley-Inter**science, 1972. С. 204—205.

[52] См. статью: *Ackoff R.L.* The Future of Operational Research is Past // Journal of the Operational Research Society. 1979. 30 (2). С. 98.

[53] *Ackoff R.L.* Там же, с. 98—99 (выделение автора).

[54] *Forrester J.W.* Confidence in **Models of Social Behavior. M.I.T., рабочий до**кумент, 10 декабря 1973 г., с. 15—17.

[55] *Nordhaus W.D.*, интервью: *Oltmans Willem L.*, опубликовано в книге: On Growth. New York: Capricorn Books, 1974. С. 120—124.

[56] *Castaneda C.* **The Teachings of Don Juan; A Separate Reality; Journey to Ixt**lan; Tales of Power. New York: Simon & Schuster, 1968—1974.

[57] *Kuhn T.S.* The Structure of Scientific Revolutions, цитируется по с. 148—151.

[58] *Richmond B.* Conceptual **Monograph No. 2. M.I.T., сборник рабочих мате**риалов по системной динамике за 1976 г., доступен в группе системной динамики Массачусетского технологического института: System Dynamics Group, MIT, Cambridge, Mass.

[59] Заметка от Донеллы Медоуз в адрес: **F. Rabar, International Institute of Ap**plied Systems Analysis, 15 марта 1977 г.

[60] *Greenberger M.* (ред.), **Management and the Computer of the Future. Cam**bridge, Mass.: MIT Press, 1962. С. 84—86.

Часть III

Девять моделей

Пути, которым люди приходят к пониманию небесных явлений,
кажутся мне не менее удивительными, чем сами явления.

Иоганн Кеплер
«Новая астрономия»

В этой части мы довольно подробно описываем девять моделей, отобранных для нашего обзора. Названия моделей, организации-разработчики и источники финансирования уже были перечислены в части I. **Таблица 3.1 (см. далее) содержит информацию о задачах, которые** призвана решать каждая модель, описание ее методологической парадигмы и временно́го диапазона. В этой части книги, как и в таблице, модели расположены в порядке уменьшения временно́го диапазона. Но прежде чем приступить к подробному изложению, нужно сказать несколько слов о том, как будет строиться описание и сравнение столь разнообразных и сложных компьютерных моделей.

3
ГЛАВА

Как описать модель?

Одна из целей нашей работы — представить все модели в едином виде, понятном читателю, который не имеет профессиональной подготовки в нашей области. Мы будем сравнивать и сопоставлять методы, предположения, интуитивные догадки и выводы каждой модели. Существует много разных способов описать модель; каждый из них уделяет повышенное внимание одним характеристикам и упускает из рассмотрения другие. Поэтому вместо того, чтобы выбрать только один формат представления, мы решили использовать четыре: один словесный и три схематических. Это позволит создать максимально полную картину для каждой модели.

3.1. Перечень основных характеристик

Первая форма, которую мы используем для представления модели, — словесное описание. Для каждой из моделей мы перечислим ее характерные черты, придерживаясь одного и того же порядка.

Организационные вопросы. Кто финансировал разработку модели, кто был заказчиком, какая группа специалистов вела проект? Какие обстоятельства свели их вместе? Какие задачи стояли перед разработчиками и какие сроки отводились на исполнение? Что связывало между собой источники финансирования, заказчика и специалистов по моделированию до начала работ, во время и после окончания проекта?

Цели и описание проблемы. Для чего создавалась модель? Какие существующие проблемы в реальном мире она призвана решить, какие явления объяснить? Какие стратегии позволяет проверить и какую информацию создает?

Методы. Какая парадигма моделирования и какие математические методы использовались для описания системы? Какие ограничения накладывают на модель применяемые методы? Соответствует ли выбранная парадигма назначению модели?

Границы применимости. За какой период модель должна была, по предположению разработчика, описывать поведение системы? Соответствует

Таблица 3.1

Название модели (фамилии основных разработчиков), организация	Основная проблемная область	Назначение и предполагаемая сфера использования модели	Принципиальные вопросы для разработки стратегии	Временной диапазон	Метод
1. SAHEL (Picardi), Массачусетский технологический институт	Голод, засухи, опустынивание восточноафриканского региона Сахель	Диссертация на соискание ученой степени. Более глубокое общее понимание долгосрочных последствий при оказании помощи государствам	Как стабилизировать экологически уязвимые пастбищные системы? Как добиться постоянного повышения уровня жизни для кочевых племен?	100—150 лет	Системная динамика
2. Нет отдельного названия (Ridker и др.), некоммерческая организация Resources for Future (RfF)	Долговременное влияние роста численности населения на запасы ресурсов и окружающую среду	Подробное прогнозирование численности населения, запасов ресурсов, состояния окружающей среды для представления комиссии, разрабатывающей национальные программы	Как будет развиваться мир при разном среднем количестве детей в семье (2 ребенка в сравнении с 3 детьми) в условиях высокого или низкого экономического роста?	30—50 лет	Межотраслевой баланс, технологическое прогнозирование
3. SOS (House, Williams), Агентство по защите окружающей среды, США	Отклик социально-экономической системы на ограниченные запасы ресурсов	Возможное создание модели для тестирования и проработки конкретных долгосрочных программ	Как механизмы отклика социальных систем позволяют обществу успешно приспосабливаться к сложностям в использовании ресурсов и проблемам окружающей среды?	30—42 года	Имитационное моделирование в области экологии и теорий социальных изменений

Окончание

Название модели (фамилии основных разработчиков), организация	Основная проблемная область	Назначение и предполагаемая сфера использования модели	Принципиальные вопросы для разработки стратегии	Временной диапазон	Метод
4. TEMPO II (Enke и др.), аналитический центр *General Electric Tempo*	Влияние роста численности населения на экономическое развитие	Демонстрация благоприятного влияния программ планирования семьи и численного долговременного планирования на развитие	Снижение рождаемости увеличивает скорость экономического роста (с учетом конкретных особенностей развития отдельных стран)	30 лет	Имитационное моделирование в области демографии и экономики
5. LTSM (Martos, Lin и др.), продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (FAO)	Зависимость между численностью населения и развитием (особое внимание уделяется развитию сельского хозяйства)	Адаптация модели к реалиям различных стран для использования в разработке долгосрочных стратегий	Разные вопросы в зависимости от специфики конкретной страны	20—25 лет	Имитационное моделирование в области демографии и экономики
6. BACHUE (Rogers, Wéry, Hopkins), Международная организация труда ООН (ILO)	Экономико-демографические зависимости (особое внимание уделяется распределению доходов)	Разработка долгосрочных программ развития и планирование в масштабах страны	Как уровень образования, планирование семьи, общественные работы и политика распределения влияют на общее развитие экономики, занятость и распределение доходов?	25 лет	Имитационное моделирование, межотраслевой баланс

7. KASM (Johnson, Rossmiller, Abkin, Carroll, de Haen и др.), Университет штата Мичиган	Развитие сельского хозяйства, систематическое планирование	Представление результатов для государственного планирования на 5 лет, область сельского хозяйства. Регулярное консультирование министерства сельского хозяйства по стратегическим вопросам	Как необходимо тратить государственные средства на развитие сельскохозяйственного сектора в ближайшие 5 лет? На основе каких факторов следует устанавливать цены на товары, квоты на импорт и налоги на экспорт? В каких условиях внешняя помощь приносит наибольшую пользу?	5—15 лет	Имитационное моделирование, межотраслевой баланс, линейное программирование, эконометрика
8. MEXICO V (Beltran del Rio), консалтинговая организация *Wharton Economic Forecasting Associates* (WEFA)	Экономический рост, неравномерность в развитии, инфляция, платежный баланс	Диссертация на соискание ученой степени. Точное краткосрочное экономическое прогнозирование для использования в бизнес-среде и органах государственного планирования	Как влияют дефляционная политика и экспансия на скорость экономического роста, торговый баланс страны, использование производственных мощностей, занятость населения и миграцию из сельских районов в города?	2 —10 лет	Эконометрика
9. CHAC (Duloy, Norton и др.), Всемирный банк	Развитие сельского хозяйства, товарные рынки	Инструмент для планирования, используемый для подробного анализа инвестиций Всемирного банка и государственных сельскохозяйственных программ в Мексике	В какие направления лучше вкладывать средства: бурение скважин, создание сети оросительных каналов, выравнивание рельефа местности? Какие виды культур дадут Мексике наибольшую прибыль при экспортных поставках? Как отреагируют фермеры на различные виды налогов и стимулов?	1 год (5 лет при использовании методов сравнительной статистики)	Линейное программирование

ли этот период назначению модели? Какие переменные включены в модель? На какие из них влияет само поведение системы (т. е. какие переменные считаются внутренними), а какие не зависят от него (считаются внешними)? Четко ли прослеживаются причины, по которым в модель включались (или, наоборот, не включались) какие-то переменные? Соответствуют ли переменные, вошедшие в модель, ее целям и временно́му диапазону?

Структура. Какую форму приняла сеть из влияющих друг на друга переменных? Как каждая переменная увязана с системой? Подробно ли представлены элементы или для них выбрана обобщенная форма?

Данные. Откуда получены численные данные? Соответствуют ли они требованиям модели? Как обрабатывались исходные данные, чтобы удовлетворить требованиям модели? Как поступает модель с «нечеткими» переменными, например, описывающими позицию или отношения? Как поступали разработчики, если необходимые данные отсутствовали?

Выводы. Какие выводы сделаны по системе, которую представляет модель? Какие рекомендованы стратегии? Насколько повлиял выбор проблемы, методов, границ, структуры и данных на выводы, сделанные разработчиками? В какой степени в выводах отражаются мысленные модели разработчиков? Удалось ли создателям модели ответить на поставленные вопросы?

Тестирование модели. Как модель проверялась после создания? Какими критериями определялась ее достоверность? Каким становится поведение системы при изменении параметров? Чувствительна ли модель к неточностям, которые часто встречаются в реальном мире? Насколько заслуживают доверия выводы о стратегиях?

(Примечание: в некоторых парадигмах моделирования тестирование на достоверность обязательно проводится перед тем, как сформулировать выводы, в некоторых других порядок обратный. Поэтому в описании разных моделей эти пункты могут меняться местами.)

История внедрения. Принесли ли пользу усилия разработчиков для создания реальной стратегии? Кто применил модель на практике, если такое применение вообще имело место? Какие положительные и отрицательные стороны были отмечены при использовании модели?

Требования к компьютеру. Сколько времени занимает прогон модели? Какой объем памяти необходим для самой модели и ее результатов? В расчете на какую компьютерную систему была построена модель? На каком языке написана программа?

Документация. Насколько полна документация на систему и на какие вопросы из приведенного списка позволила ответить? Написана ли она четким языком, хорошо ли упорядочена, насколько информативна? Приводятся ли в ней расчетные уравнения? Даны ли им объяснения в тексте? Может ли кто-то, помимо самих разработчиков, воссоздать и запустить модель, протестировать ее?

Отвечая на эти вопросы для всех моделей, что вошли в наше исследование, мы столкнулись с двумя принципиальными сложностями. Первая заключалась в поиске информации. Хотя все 9 моделей были снабжены документацией, тем не менее большинство из этих описаний вовсе не были составлены так, чтобы в них содержались ответы

на наши вопросы. Некоторые представляли собой подборку из десятка коротких статей, но при этом не содержали полного технического описания модели. Лишь в нескольких документах прослеживались субъективные представления, стимулы и ограничения, повлиявшие на модель. Похоже, что разработчики приписывали себе абсолютную объективность и потому вообще не упоминали человеческие и организационные факторы, влиявшие на создание модели.

По этим причинам собрать вместе ответы на все наши вопросы было очень непросто. Информация, которую мы получали при личном общении и из официальной документации, часто была неполна, и нам приходилось додумывать и логически определять недостающее. Например, если цель модели нигде не заявлялась, мы могли прийти к выводу о том, какой она была на самом деле, за счет косвенных признаков: что модель делала, кто оплатил ее разработку, как создатели модели описали ее строение. Чтобы минимизировать риск неправильных догадок, мы попытались во время обсуждения определить собственные склонности и предпочтения, чтобы делать на них поправку, и представили все свои записи разработчикам моделей для изучения и проверки на возможные ошибки.

Вторая сложность заключалась в том, что словесное обсуждение по своему роду всегда проходит последовательно, в то время как особенности моделей (границы, причинно-следственная структура и др.) могут влиять или одномоментно, или циклично, или просто быть слишком сложными. По этой причине словесное описание либо становилось слишком поверхностным, либо слишком запутанным. Чтобы обойти эту проблему, мы решили дополнить словесное описание графическими формами — схемами границ, причинно-следственными диаграммами — и проводить сравнение с типовой структурой.

3.2. Диаграмма границ

Выбор границ очень важен. Какие особенности реального мира найдут свое отражение в модели, а какие будут исключены из рассмотрения? От этого решения зависит результат моделирования. Чтобы понять модель или сравнить между собой несколько моделей, необходимо очень четко представлять себе выбор границ. На рис. 3.1 показан пример граничной диаграммы для простой гипотетической модели сельскохозяйственного сектора и производства продовольствия.

В диаграмме различаются три группы переменных. Внутренние параметры, замкнутые в центральном круге, определяются или рассчитываются самой моделью. В системно-динамической модели в группу внутренних переменных попадают те, что участвуют в петлях обратной связи. В эконометрической модели к внутренним перемен-



Рис. 3.1. Пример диаграммы границ

ным относятся те параметры, которые определяются зависимостями из системы уравнений либо функциями с запаздыванием. Внешние элементы, заключенные в большой круг, влияют на состояние системы в модели, но сами не подвержены воздействию с ее стороны; это либо константы, либо движущие зависимости, которые должны быть описаны как вводные данные, прежде чем модель можно будет запустить для расчета.

Пропущенные в модели переменные вынесены за пределы кругов. В действительности список таких параметров может быть бесконечным. Но мы указали только те элементы, которые имеют самое непосредственное отношение к внутренним и внешним переменным, внесенным в круги. Это позволяет привлечь внимание к предположениям, которые определяют границы модели, и указать возможные направления для ее расширения и усовершенствования.

3.3. Причинно-следственная диаграмма

В главе 1 мы уже описывали, как на диаграммах обозначается причинность; в главе 2 приведены диаграммы для нескольких моделей,

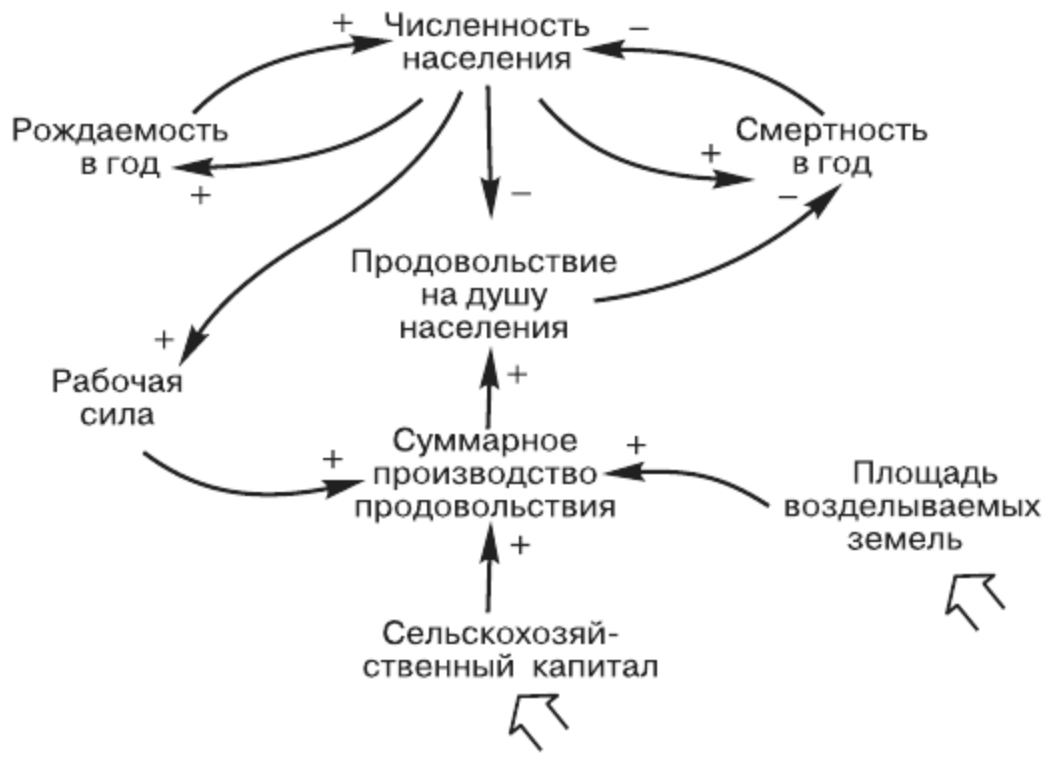


Рис. 3.2. Простая диаграмма причинно-следственных связей

служивших примерами. На рис. 3.2 показана причинно-следственная диаграмма для простой имитационной модели, которая соответствует диаграмме границ, приведенной на рис. 3.1. Односторонние стрелки отражают связи причин и следствий. Два внешних элемента отмечены открытыми стрелками (⇒). Причинно-следственная диаграмма простой эконометрической модели приведена на рис. 3.3. Эта модель представляет собой смесь причинных (поведенческих) предположений, отраженных с помощью односторонних стрелок, и корреляционных (определяемых) взаимосвязей, отраженных двусторонними стрелками (↔).

Основное преимущество причинно-следственных диаграмм состоит в том, что они дают возможность оценить сразу все взаимосвязанные предположения в модели. Последовательное словесное описание не позволяет добиться такой целостности и одновременности в восприятии. При первом же взгляде на причинно-следственную диаграмму можно понять, какова принципиальная структура модели, замкнута она или открыта, какие связи существуют между переменными модели. Можно даже заметить, какие важные связи упущены. Если модель не слишком сложна, то по наличию (или отсутствию) петель обратных связей можно сделать общий вывод о том, какие типы динамического поведения для нее характерны.

В то же время диаграмма причин и следствий не отражает точные численные характеристики взаимосвязей. Чтобы определить, насколько сильна зависимость, отражаемая каждой стрелкой, линейна она или нелинейна, имеет запаздывание или нет, необходимо обратиться к уравнениям модели. Причинно-следственная диаграмма представ-

$C = 16{,}8 + 0{,}02P + 0{,}23P_{-1} + 0{,}80(W_P + W_G)$
$I = 17{,}8 + 0{,}23P + 0{,}55P_{-1} - 0{,}15K_{-1}$
$W_p = 1{,}6 + 0{,}42Y + 0{,}16Y_{-1} + 0{,}13t$
$Y = C + I + G$
$P = Y - W_P - T$
$K = K_{-1} + I$

где C – потребление;
I – инвестиции;
W_P – заработная плата в частном секторе;
Y – выпуск продукции;
P – доходы;
K – величина капитала;
G – государственные расходы;
W_G – доходы в государственном секторе;
T – налоги на бизнес;
t – время

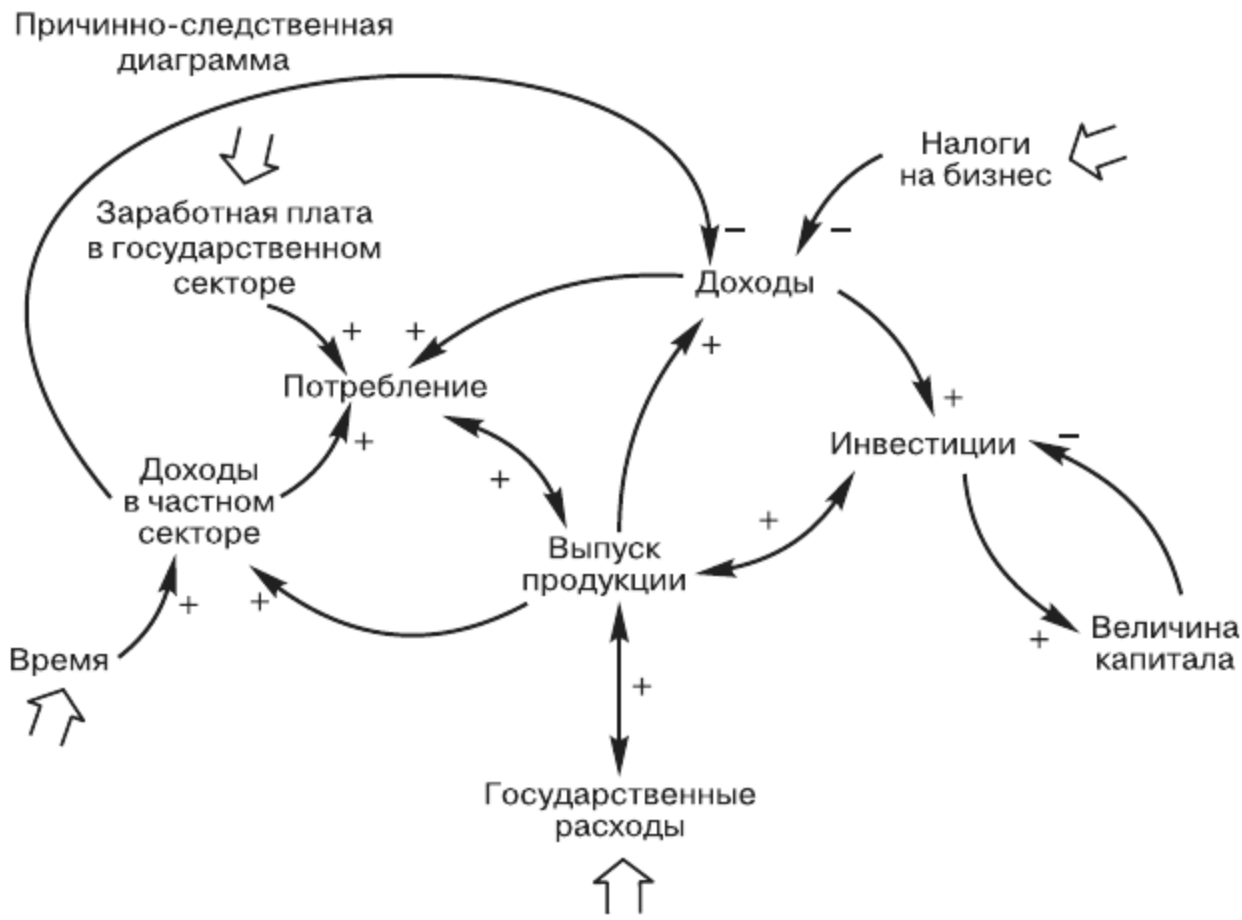


Рис. 3.3. Уравнения и причинно-следственная диаграмма, описывающие эконометрическую модель Клейна для периода между двумя войнами

ляет собой лишь набросок — это качественная структура модели. Она может и должна вызывать вопросы о численных зависимостях, чтобы можно было перейти от обсуждения структуры к конкретным параметрам и к математическим уравнениям.

Составляя для девяти отобранных моделей причинно-следственные диаграммы, мы столкнулись с проблемой: некоторые модели слишком сложны, чтобы их можно было достоверно передать в виде такой диаграммы. Если стрелками отразить все предположения о причинах и следствиях, то получится клубок, который невозможно распутать, поэтому в некоторых случаях мы такие диаграммы не приводим. В других случаях мы включили причинно-следственные диаграммы фрагментов модели, чтобы проиллюстрировать конкретный набор предположений или пояснить причины того или иного поведения модели.

3.4. Структура для сравнения

Причинно-следственная диаграмма позволяет в простой форме представить содержимое модели, однако с ее помощью нелегко сравнивать элементы, включенные в разные модели или исключенные из них. Чтобы решить эту проблему, мы используем четвертый способ представления для девяти выбранных моделей. После изучения причинно-следственных диаграмм мы создали перечень всех основных элементов и взаимосвязей, которые любой разработчик моделей сочтет важными для экономико-демографической системы. Разумеется, большинство моделей содержит многие из этих элементов и связей, так что в этом они перекрывают друг друга. Например, практически все модели включают в себя численность населения, производственную функцию, какой-либо показатель материального уровня жизни... Перекрывающиеся области описывают самые важные, ключевые участки системы «население-производство», и в этом все девять моделей сходятся. На рис. 3.4 в очень обобщенной форме показаны причинно-следственные связи и элементы, фигурировавшие в моделях чаще всего.

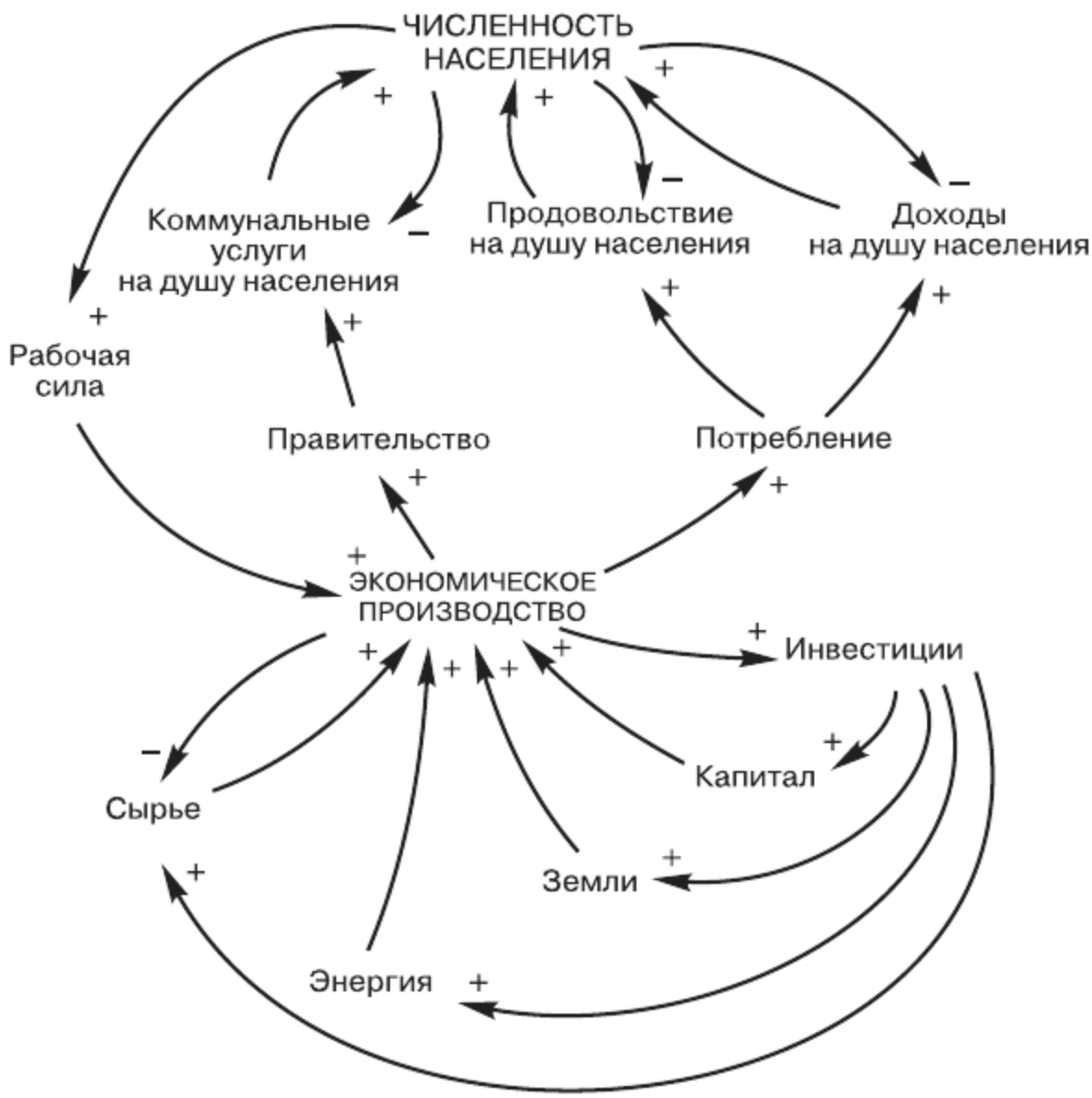


Рис. 3.4. Причинно-следственная диаграмма, включающая элементы и взаимосвязи, которые чаще всего встречаются в экономико-демографических моделях

Стрелки на рис. 3.4 описывают ряд чрезвычайно сложных явлений, происходящих в реальном мире и включенных в модели через математические описания разного типа. Например, набор стрелок, ведущих от инвестиций к капиталу, энергии и другим факторам сферы производства, отражает ряд решений по распределению вложений, причем в них могут фигурировать понятия относительной стоимости, предельной отдачи, прибыли, складских запасов, финансовых ограничений, запаздывания на производстве и множество других. Из этого небольшого фрагмента системы может получиться довольно сложная оптимизационная модель, требующая тщательной проработки. Многочисленные стрелки, ведущие от разных факторов производства к собирательному параметру «экономическое производство», могут отражать простую производственную функцию Кобба-Дугласа, таблицу «затраты-выпуск» или, в случае с сельскохозяйственным сектором, набор экологических и биологических зависимостей. Еще один довольно сложный набор зависимостей увязывает принимаемые решения с физической системой, когда выпущенная продукция может делиться на два направления: потребление и инвестирование в производственный капитал. Потребительская сфера непосредственно связана с привычками и образом жизни населения, с влиянием на рост численности населения душевого производства продовольствия, доходов и т. д.

Если перекомпоновать рис. 3.4, чтобы сделать основной упор на социальные, экономические и физические факторы, влияющие на принятие решений, то получится диаграмма, приведенная на рис. 3.5. Она отличается от причинно-следственных диаграмм, использовавшихся до сих пор в нашей книге, тем, что основное внимание уделено *принятию решений* в системе — эти точки заключены в овалы. Каждый овал характеризует чрезвычайно сложный участок модели, который в свою очередь отражает не менее сложный набор личных и коллективных решений.

Численность населения и доходы (а в более детальной модели — все параметры, относящиеся к населению и распределению доходов) — это значения, которые необходимы для принятия ряда социально-экономических решений, объединенных под названием «ПОТРЕБЛЕНИЕ». Именно здесь в экономической системе определяется совокупный спрос на все виды покупаемой/продаваемой продукции. Информация о суммарном спросе в сочетании с объемами сельскохозяйственного и промышленного производства (т. е. предложениями) поступает в точку принятия решения о «РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПРОДУКЦИИ». В этой части системы определяется, сколько созданной продукции пойдет на уплату налогов, сколько на конечное потребление, сколько на исследования и инвестиции... Также здесь принимается решение о том, как именно налоги, потребление и инвестиции будут соотнесены с составом населения. Душевой доход и объем услуг,

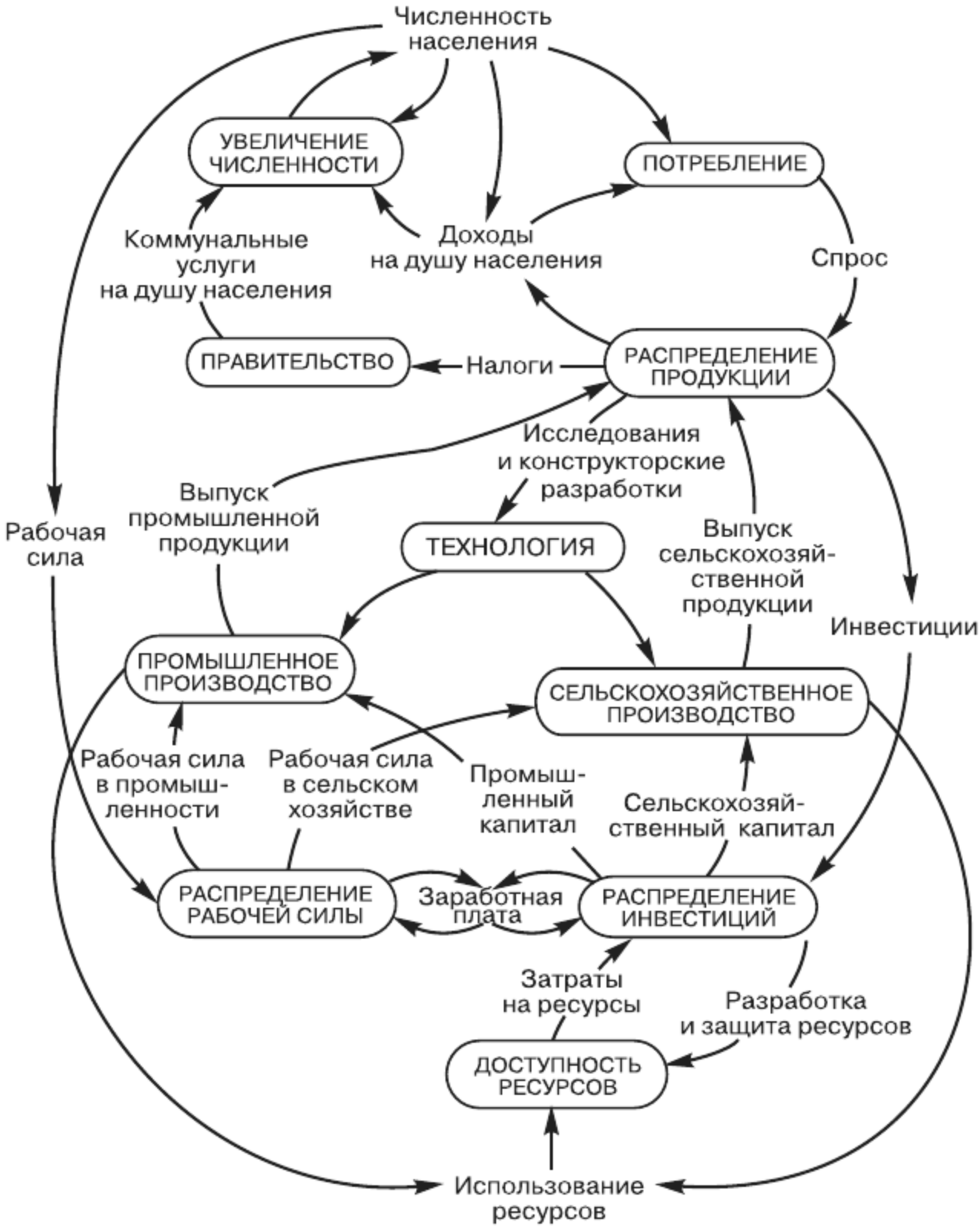


Рис. 3.5. Структура для сравнения

их распределение плюс демографическая структура населения и другие факторы влияют на скорость роста численности населения — это точка решения об «УВЕЛИЧЕНИИ ЧИСЛЕННОСТИ». От численности населения зависит количество рабочих рук, которые могут участвовать в производственных процессах («СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО» и «ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО»). На производство влияют и факторы, не связанные непосредственно с рабочей силой, — капитал и технологии. Решения о «РАСПРЕДЕЛЕНИИ РАБОЧЕЙ СИЛЫ», включая миграционные вопросы, определяют параметры рынка труда и распределение работников между

промышленностью и сельским хозяйством. Решения, принятые в точке «ТЕХНОЛОГИЯ», влияют и на процесс промышленного производства, и на сельское хозяйство. «ДОСТУПНОСТЬ РЕСУРСОВ» характеризует наличие и стоимость различных природных факторов, связанных с производством, — земель, полезных ископаемых, воды, углеводородного сырья и т. д. Средства на заработную плату, затраты на сырье и другие параметры должны соответствовать доступным инвестиционным накоплениям в точке решения «РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИЙ». От этого зависит, какие факторы будут замещать друг друга и какие объемы нового капитала будут необходимы.

Разумеется, не все модели содержат все перечисленные на рисунке пункты, и даже те, что в них включены, все равно отображены по-разному. Например, параметр «увеличение численности» в одной модели может быть внешним, в другой зависеть от доступности продовольствия и программ планирования семьи, а в третьей представлять собой крайне сложную зависимость, в которой учитываются принятые социальные нормы, образование, уровень занятости среди женщин и распределение доходов. Добавим несколько слов, чтобы пояснить каждый овал (точку принятия решений) в структуре для сравнения, — это позволит показать, какие факторы включены в каждую модель как параметры, влияющие на принятие решений (см. табл. 3.2).

Хотя использование структуры для сравнения — своего рода проверка полноты модели, мы вовсе не хотим сказать, что более полная модель обязательно будет «лучше», чем та, в которой отсутствуют некоторые фрагменты. Модели создают, чтобы представить реальный мир упрощенно, потому что во всей его сложности он едва ли доступен для понимания.

Любая модель, которая будет содержать все факторы, перечисленные в табл. 3.2, и отражать все механизмы принятия решения во всех деталях, станет абсолютно неподвластной пониманию. Поскольку в каждой модели что-то пропущено, а что-то упрощено, такие пропуски и упрощения нужно оценивать с точки зрения цели, ради которой создавалась модель. Если она предназначена для точного предсказания нескольких тесно связанных между собой переменных в краткосрочной перспективе, то можно сосредоточиться на какой-то одной функции принятия решения из табл. 3.2 и описать ее максимально подробно. Все остальные участки системы в таком случае можно считать внешними факторами. Если же модель рассчитана на долгосрочную перспективу и должна качественно оценивать тенденции поведения, то в нее можно включить практически все фрагменты системы, однако не описывать в подробностях ни один из них. Диаграмму, на которой отражена структура для сравнения, можно использовать для сопоставления со всеми девятью моделями, но при этом нужно основывать заключения не на простом сравнении фрагментов, а на их пригодности для цели, которую преследует модель.

Таблица 3.2

Факторы, которые могут быть включены в механизмы принятия решений

Потребление	*Распределение рабочей силы*
Цели и желания Цены Реклама Потребительские привычки Доходы Кредиты и потоки наличных средств Запасы хозяйственно-бытовых товаров Распределение доходов	Заработная плата Образование Миграция Профсоюзы Дискриминация Доступность жилья Запаздывание в восприятии
Распределение продукции	*Распределение инвестиций*
Цены Налоговая политика Выплаты по программам социального страхования и государственным облигациям Распределение доходов Процентная ставка Социальная структура населения Капитальное имущество и средства производства	Расходы Предельная отдача инвестиций Процентная ставка Прогнозирование Прибыли Потоки наличных средств и кредитов Цены Государственное стимулирование и регулирование
Технология	*Увеличение численности населения*
Затраты на научно-исследовательские и конструкторские разработки Запаздывание в развитии Капитал для развития Запас знаний Осознание технологических потребностей Цены	Питание Здравоохранение Методы контроля над рождаемостью Положение женщин в обществе Образование Доходы и их распределение Социальные представления о количестве детей в семье Возрастная структура населения
Доступность ресурсов	*Промышленное и сельскохозяйственное производство*
Запас и распределение ресурсов Площади и качество земель Предъявление претензий и требование компенсаций Эрозия Истощение Загрязнение Картельные отношения	Капитал Рабочая сила/заработная плата, профессиональный уровень и доступность Технология Стоимость энергии и ее доступность Стоимость ресурсов и их доступность Земли Погодные условия

3.5. Устойчивость и чувствительность

Все девять моделей, приведенных в этой книге, имеют качественный уровень «выше среднего», и это не только наша оценка, но и мнение других разработчиков, заказчиков и тех, кто финансировал создание моделей. Мы постарались описать их с максимальной точностью, хотя и признаём, что при этом нам вряд ли удалось быть полностью беспристрастными. Вероятно, и читатели тоже не смогут быть абсолютно свободными от пристрастий...

В каждой модели есть сильные и слабые стороны. Если вы ищете недостатки, то, без сомнения, найдете их, и в немалом количестве. Даже в приведенном в этой книге относительно небольшом материале уже есть несоответствия между целями и методами; пробелы в документации; абсурдные предположения, погребенные под сверхсложными структурами; выводы, которые на самом деле вовсе не следуют из результатов моделирования; управленческие стратегии, которые исключают всякую возможность повлиять на текущие тенденции. Обнаружив такие несоответствия и проблемы, мы об этом заявляем в тексте. Без сомнения, есть еще и моменты, которые мы упустили.

Тем не менее было бы неправильно судить о моделях только по их недостаткам, приписывать недочеты каким-то конкретным разработчикам или заключать, что несовершенство моделей делает их использование бессмысленным, как и вообще само моделирование как таковое. Поиск ошибок полезен, если это делается ради обучения, чтобы больше их не повторять. Если же недостатки ищут только ради того, чтобы предъявить претензии или оправдать бездействие, то это напрасная трата времени. Большинство проблем, которые рассматриваются в девяти моделях, широко распространены. Мы могли бы описать другие модели с гораздо более серьезными проблемами, которые не дают практически никаких полезных результатов. Среди них могло бы быть огромное количество мысленных моделей, которые используют за неимением полноценных компьютерных систем.

Более того, нужно обязательно учитывать, что количество ошибок, которые совершает человек, зачастую зависит от того, пробует ли он делать что-то новое. Многие из описываемых моделей действительно новые, можно даже сказать, новаторские. Они ступают на совершенно не изученную почву или пытаются описать мир непривычными способами, которые раньше никто не пробовал. В каком-то смысле это не вполне удавшиеся эксперименты, однако их создатели, несомненно, получили очень ценный опыт и своих ошибок в будущем не повторят. Несовершенство моделей приносит пользу всем, потому что мы тоже на этом учимся.

Мы выбрали эти девять моделей, поскольку они представляют собой, в том или ином аспекте, первые шаги в новых направлениях

моделирования. Было бы в корне неправильно считать их свидетельством неудач и ошибок в моделировании только потому, что они вошли в наш обзор. Многие модели, не включенные в эту книгу, заслуживают гораздо более жесткой критики.

Решения в любом случае должны основываться на моделях того или иного типа, но идеальных моделей не существует. Вопрос надо ставить не об уровне совершенства, а о практической применимости той или иной разработки. Полезна ли модель для принятия решения, ради которого создавалась? Дает ли она что-то сверх того, что можно было бы получить за счет обычных мысленных моделей?

4
ГЛАВА

SAHEL: трагедия общин

4.1. Организационные вопросы

В июне 1973 г. ООН организовала встречу, чтобы обсудить вопросы помощи Судано-Сахельскому региону Африки, страдавшему от засух и голода. На ней было решено собрать необходимые данные по проблемам в регионе и изучить основные возможности для его развития[1]. Исследование взялось провести Африканское подразделение Агентства США по международному развитию (United States Agency for International Development, USAID), и уже в августе 1973 г. непосредственное выполнение работ поручили Массачусетскому технологическому институту (МТИ), с условием, что исследование будет завершено к 1 сентября 1974 г.[2] В МТИ собрали междисциплинарную группу специалистов и каждому отвели свою часть вопроса для глубокого изучения.

В это время Энтони Пикарди, прошедший в МТИ подготовку по системной динамике в группе Джея Форрестера, числился в аспирантуре по гражданскому строительству, работая совместно с основным исследователем по Судано-Сахельскому проекту, профессором Уильямом Сейфертом. Системную динамику рассматривали в ряду методов, пригодных для междисциплинарного исследования, порученного МТИ, поэтому Пикарди включили в группу исполнителей. Его работа позволила сформировать отчет USAID и одновременно послужила основой для диссертации на соискание ученой степени, хотя этот вклад был лишь частью большого проекта, в рамках которого подробно изучались экономика региона, водные ресурсы, транспортные проблемы, питание, здравоохранение и социальные вопросы Сахельского региона.

Сроки были поставлены жесткие, поскольку ситуация в регионе требовала оперативных мер. Все исследование было проведено за год, итоговый полный отчет выпустили еще через полгода, и такая спешка

не могла не сказаться на организации работ. ООН поручила провести исследование Агентству USAID, в подразделении USAID обратились к исполнителям из МТИ, в итоге полноценной прямой работы между заказчиками и аналитиками по большому счету не было. А ведь заказчикам предстояло воплощать в жизнь рекомендации, полученные при моделировании! Подразделение USAID организовывало поездки разработчиков в Африку, ему докладывались промежуточные результаты и был отправлен итоговый отчет, но никто ни из Агентства USAID, ни из ООН, ни из представителей Сахеля в непосредственных работах по проекту не участвовал.

Перед Пикарди, недавним выпускником института, стояла очень сложная и разноплановая задача, и неудивительно, что он не имел четкого представления о том, кто будет использовать результаты его работ и как они впишутся в общий проект по Сахелю. Единственное, что не вызывало сомнений, — нужно писать и защищать диссертацию. Поэтому, судя по всему, общие требования к научным работам повлияли на исследование гораздо больше, чем потребности заказчиков.

4.2. Цели

Судано-Сахельский проект должен был помочь странам этого региона и организациям-донорам изучить возможности социального и экономического развития на ближайшие 20—25 лет[3]. Пикарди отправился в трехнедельную поездку по Чаду, Мали и Верхней Вольте (теперь Буркина Фасо), где своими глазами увидел последствия засухи и имел возможность выслушать местных жителей. Вернувшись, он решил ограничить свою часть исследования проблемами опустынивания, заключив, что их решение — необходимое (хотя и недостаточное) условие восстановления региона[4]. Он выделил три ключевых фактора для происходящего в Сахеле: голодали люди, голодал скот, пастбища страдали от перевыпаса и превращались в пустыню.

Пикарди постарался установить связи между численностью населения, поголовьем скота и состоянием пастбищ в регионе, чтобы выяснить, как система пришла к столь плачевному состоянию и как обратить негативные тенденции вспять. Его вопросы были сформулированы размыто и относились, скорее, к стадии общего понимания, чем к подробной проработке решения.

В ходе работы Пикарди пришел к выводу о том, что на восстановление Сахеля может потребоваться больше столетия, поэтому расширил первичные временны́е границы с 20—25 лет (такой период фигурировал в задании USAID) до 150 лет. Прошедшие с той поры 50 лет подтвердили правильность результатов моделирования.

4.3. Методы

Пикарди полностью следовал системно-динамической парадигме[5] и процедурам, сформулированным Форрестером в его работе «Промышленная динамика»[6].

1. Дать определение динамической проблеме.
2. Сформулировать гипотезу о механизмах обратной связи, вызывающих наблюдаемое нежелательное поведение системы.
3. На основе этой гипотезы построить компьютерную имитационную модель.
4. Запустить программу, сравнить поведение модели с тем, что известно о реальной системе. Пересматривать и дорабатывать модель столько раз, сколько потребуется для приемлемого соответствия реальной системе.
5. Определить, какие изменения в системе приведут к улучшению ее поведения.

Для создания модели Пикарди применил обычный системно-динамический инструментарий. Системы уравнений в конечных разностях и относящиеся к ним графики зависимости от времени были заданы на языке DYNAMO, который обладает также возможностями кусочно-линейной аппроксимации и экспоненциального сглаживания, что позволяет отражать нелинейные взаимосвязи и распределенные запаздывания по времени. Парадигма предусматривала, что в системе нужно определить основные обратные связи и построить потоковую диаграмму, чтобы отобразить скорости, уровни, информационные и физические потоки, учитывая нелинейные зависимости и запаздывания. Информацию следовало получить из различных источников, включая те, что не связаны со статистикой, — главное, чтобы в ней были отражены социокультурные факторы и стимулы пастбищно-скотоводческой системы.

Пикарди пытался понять, как система реагирует на изменения погоды, как можно повысить жизненный уровень кочевых племен и уменьшить их уязвимость перед засухой. По всему выходило, что поведение системы зависит от связей между людьми, их стадами и состоянием пастбищ, и для решения такой задачи системная динамика была вполне пригодна. Правда, не стоит упускать из виду, что скорее Пикарди, имевший системно-динамическую подготовку, выбрал Сахельский проект из массы исследований, проводимых в МТИ, чем наоборот.

4.4. Границы

В соответствии с парадигмой системной динамики для начального варианта модели следует выбирать лишь минимально необходимый

набор переменных, объясняющих текущее нежелательное поведение системы[7]. Пикарди указал в качестве основных параметров численность населения, поголовье скота и состояние пастбищных угодий. Исходная модель SAHEL2 содержала три этих переменных и дополнительную информацию, описывающую взаимосвязи.

Пикарди был убежден, что в долговременной перспективе поведение Сахельской системы в основном объясняется причинно-следственными обратными связями, поэтому большинство переменных модели были внутренними. Для описания сторонних факторов он также ввел ряд внешних параметров (см. рис. 4.1), главные из которых — количество осадков, государственная программа здравоохранения, уровень ветеринарной помощи и межплеменные конфликты в регионе. Литературные источники также утверждали, что бурение скважин привело к уменьшению кочевой активности — люди предпочитали дольше оставаться поблизости от колодцев — поэтому и этот фактор Пикарди включил в систему как внешний; он влиял не только на доступность воды, но и на время, проводимое кочевниками на территории Сахеля.

Сахельская модель дорабатывалась много раз — только в диссертации Пикарди приведены три ее версии (в порядке возрастающей сложности): SAHEL2, ECNOMAD и SOCIOMAD. В двух последних моделях Пикарди расширил границы, чтобы включить в них культурные факторы, определяющие, как кочевники распоряжаются своими стадами.

Все эти модели основаны на экологических связях и в основном замкнуты. Они довольно точно описывают пастбищные системы Сахеля, несмотря на пропущенные элементы — промышленность, образование и др. Правительство в явном виде не фигурирует, однако государственные программы в модели учтены. Как мы увидим дальше, выбор границ оказался достаточно широким, чтобы охватить проблему, но слишком узким, чтобы проработать решения, которые предусматривали бы необратимое изменение в культурных традициях или ресурсной базе кочевых племен.

4.5. Структура

Мы приведем структуру модели SAHEL2, самой простой из всех, а для систем ECNOMAD и SOCIOMAD опишем изменения.

Модель SAHEL2 состоит из трех подсистем, описывающих почвы, поголовье скота и численность населения. Почвенная подсистема ведет себя как возобновимый ресурс, который подвержен эрозии. На нем основана жизнь людей в Сахеле, от него зависит поголовье скота. На рис. 4.2 показаны две петли положительной обратной связи, определяющие поведение системы, — стравливание пастбищ из-

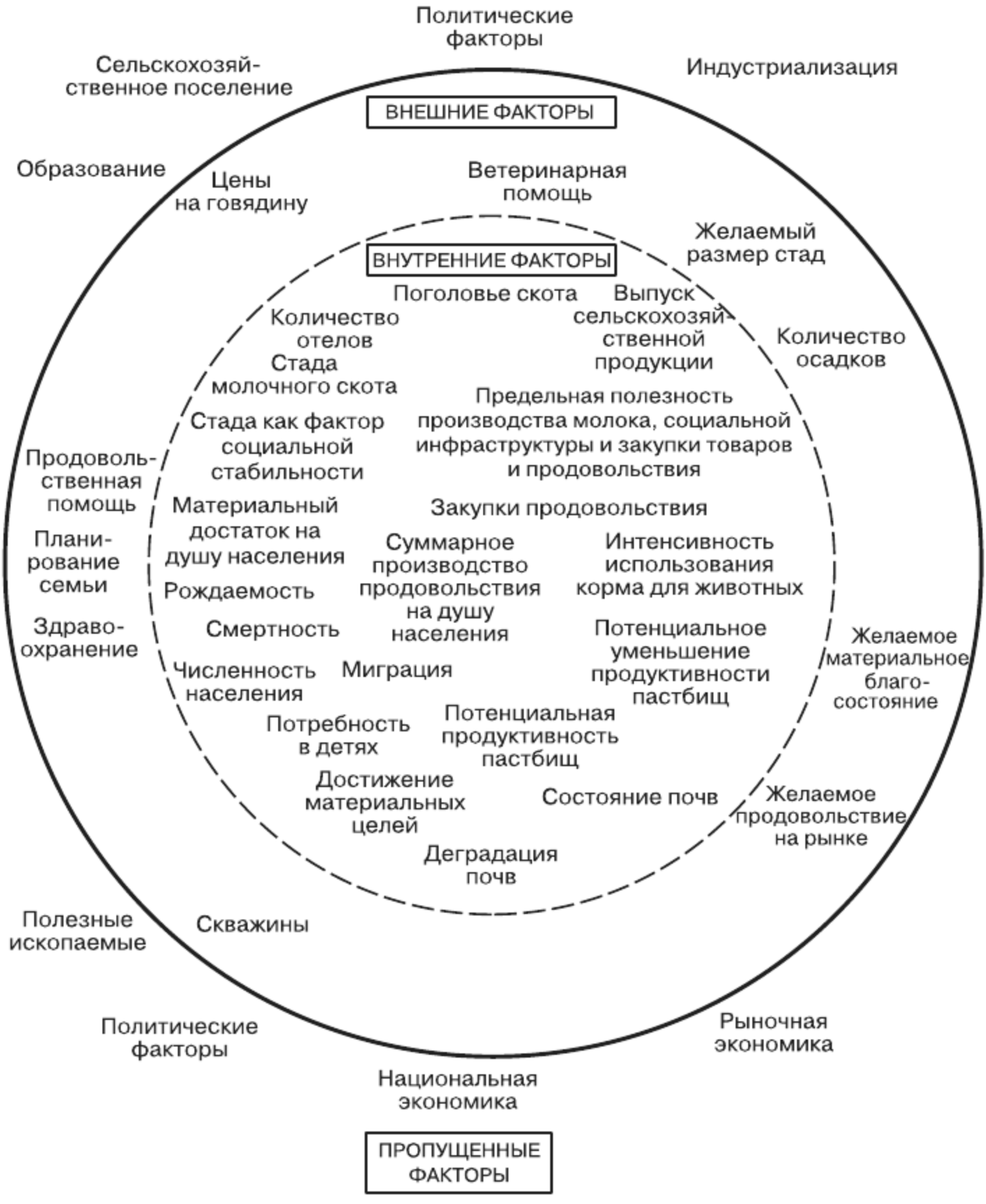


Рис. 4.1. Границы модели SOCIOMAD

за чрезмерного выпаса. При нормальном поведении системы перевыпаса нет, деградация почвы уравновешивается ее восстановлением, продуктивность пастбищ поддерживается на устойчивом уровне. Если по каким-то причинам начинается перевыпас, почвы деградируют, корма становится меньше. Пока поголовье скота остается прежним, травы становится все меньше, деградация почв усугубляется, ухудшение экспоненциально нарастает. Если выпас уменьшить, пастбище начинает восстанавливаться.

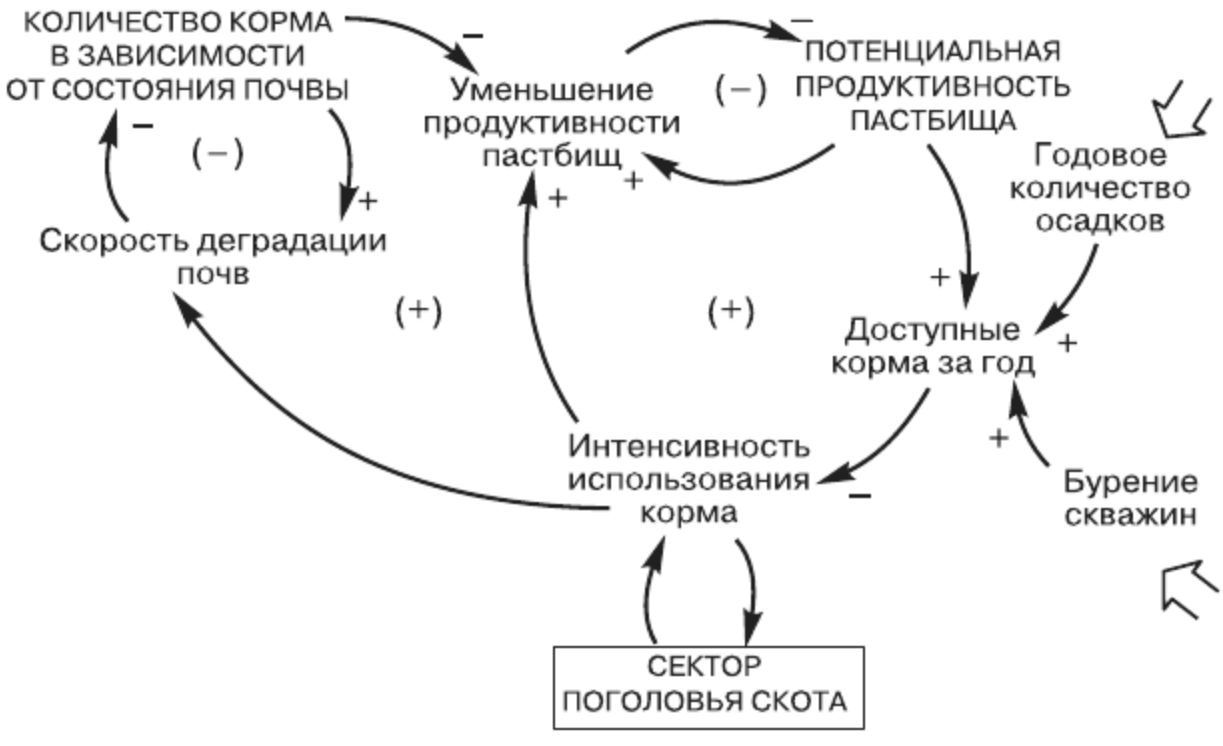


Рис. 4.2. Почвенная подсистема модели **SAHEL2 (заглавными буквами выделены переменные состояния)**

Обратные связи, приводящие к истощению почв и уменьшению количества корма, зависят от засухи. Недостаток осадков уменьшает количество травы, и если ее не хватает на имеющееся поголовье скота, начинается перевыпас. Если проблему вовремя не решать, — а обычно так и бывает — то перевыпас приведет к крайней степени деградации почв. Пастбище превратится в пустыню, начнется падеж скота.

Состояние почвы и количество корма определяют поголовье скота и ограничивают его рост. Петля положительной обратной связи на рис. 4.3 описывает знакомый биологический цикл воспроизводства и экспоненциального роста популяции. Если болезни и другие факторы не поддерживают смертность на уровне, сопоставимом с рождаемостью, то экспоненциальный рост будет наблюдаться до тех пор, пока не скажется нехватка кормов или владельцы стад не начнут забой скота (чему соответствует параметр «выпуск сельскохозяйственной продукции»). Это увеличит смертность и стабилизирует поголовье. В случае если кормов не хватает настолько, что забой не исправит ситуацию, предполагается, что кочевники уводят свои стада из Сахеля. В модели SAHEL2 положительная обратная связь стремится довести поголовье до максимума, который пастбище в состоянии выдержать, что соответствует культурным традициям племен (в модели **SOCIOMAD** этот участок системы проработан более подробно).

Очевидное следствие показанной структуры: программы помощи, которые уменьшают падеж скота, а также ветеринарная помощь способны вывести систему из равновесия. Любое действие, которое ослабляет отрицательную обратную связь, ограничивающую поголовье, приводит к тому, что почвы деградируют быстрее и начинается опу-

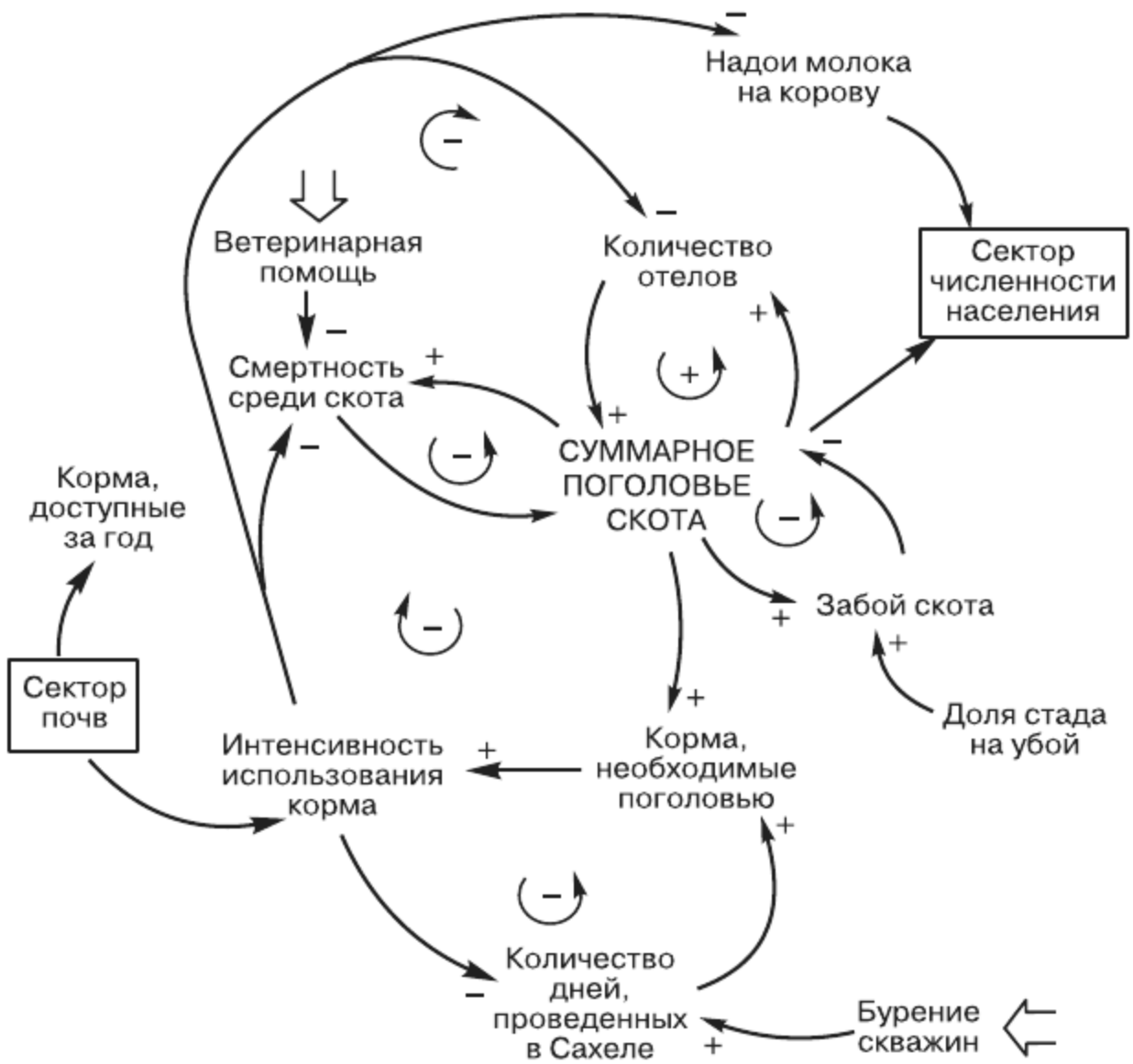


Рис. 4.3. Сектор поголовья скота в модели SAHEL2

стынивание. Такие же последствия дает бурение скважин — из-за них кочевники меньше передвигаются, и на пастбища Сахеля приходится дополнительная нагрузка.

Численность населения в модели SAHEL2 ограничена количеством продовольствия, получаемого от животноводства, точно так же, как поголовье скота ограничено количеством пастбищного корма. Структура сектора, отвечающего за численность населения (см. рис. 4.4), очень похожа на структуру, определяющую поголовье скота.

На сектор численности населения также влияют внешние факторы. Программы помощи, улучшающие благосостояние (например, охрана здоровья, меры по предотвращению межплеменных столкновений), ослабляют отрицательные обратные связи, которые многие века регулировали численность населения.

Принципиальная разница между сектором, описывающим поголовье скота, и сектором численности населения состоит в том, какое место эти подсистемы занимают в совокупной системе. Поголовье скота зависит от состояния почвы — ресурса, который легко истощить, но который медленно восстанавливается. Численность

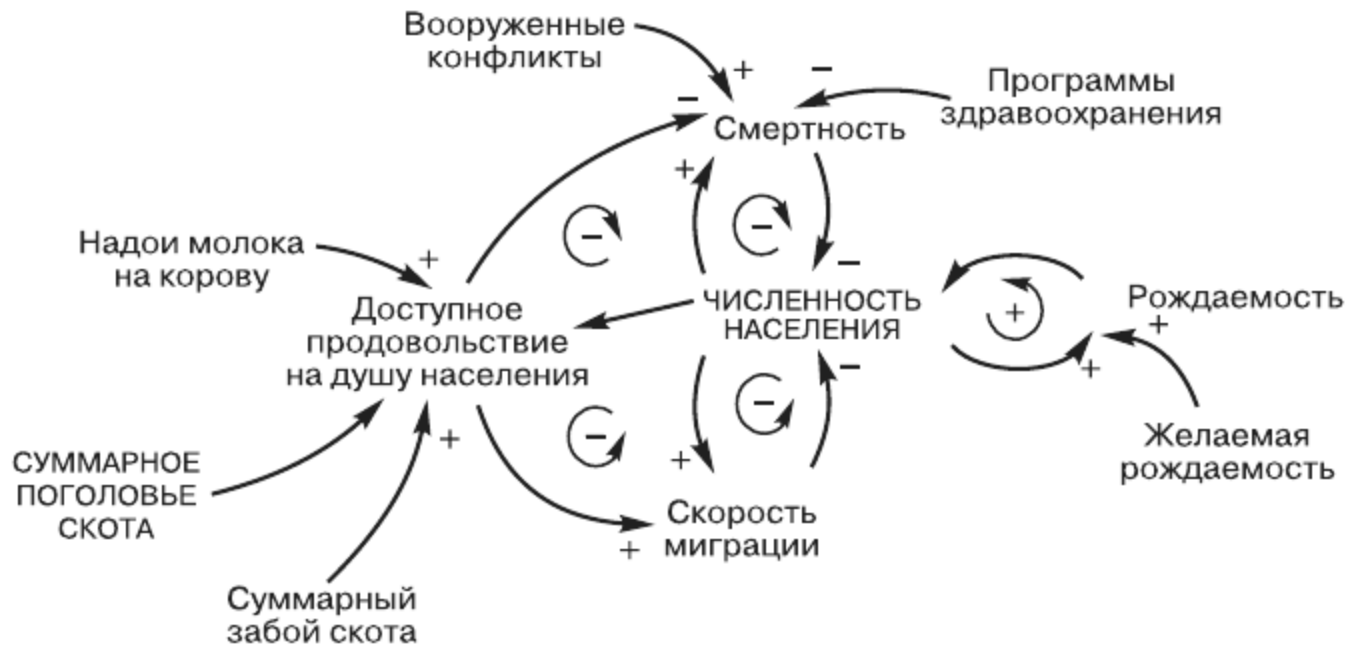


Рис. 4.4. Сектор населения в модели SAHEL2

населения зависит от поголовья скота, люди регулируют его численность, и при наличии кормов поголовье можно увеличить очень быстро. И если переизбыток скота может подорвать существование всей системы, то чрезмерная численность людей приведет только к снижению уровня жизни. Еще одна принципиальная разница состоит в том, что от человека и его решений зависит и численность населения, и поголовье скота. Поэтому основные переменные, описывающие в модели принятие решений, — выпуск продукции, человеческая рождаемость и миграция, — относятся только к сектору численности населения.

Анализируя поведение модели SAHEL2, Пикарди пришел к выводу о том, что пастбищная система Сахеля нестабильна, особенно с учетом возможностей современной ветеринарии, программ здравоохранения и других факторов, изменяющих традиционный жизненный уклад. Нестабильность — следствие того, что между состоянием пастбищ и принятием решений нет эффективной обратной связи. Всего три фактора ограничивают поголовье скота: уровень смертности среди людей, забой скота и традиционные маршруты/сроки миграции. Если убрать эти ограничения, оставив остальные структуры без изменений, бесконтрольное увеличение стад превратит весь регион в пустыню.

В доработанные модели ECNOMAD и SOCIOMAD Пикарди включил социальные и экономические факторы, влияющие на принятие решений. Это позволило выяснить, каков устойчивый уровень использования экосистемы[8]. Модель ECNOMAD учитывает, что кочевники держат стада для нескольких целей: производства молока, мяса, использования продукции животноводства для изготовления товаров. Также стада выступают фактором социальной стабильности, представ-



Рис. 4.5. Отрицательная петля обратной связи, определяющая количество скота, который держат ради производства товаров

ляя собой резервные запасы племени на случай бедствия. Кочевники стремятся держать в качестве резерва больше скота, потому что им уже доводилось сталкиваться с голодом. Текущее количество молока, мяса, кожевенной продукции и «социальной стабильности» в сравнении с их желаемыми количествами определяют величины предельной полезности, от которых зависит соотношение молочного/мясного/общественного скота (см. рис. 4.5).

Если модель ECNOMAD полагает, что желаемый размер стада — величина неизменная, то система **SOCIOMAD считает, что на этот показатель** могут влиять и внутренние, и внешние факторы. Обе модели пошли по пути увеличения сложности, чтобы учесть культурные факторы и проверить варианты государственного управления — например, приведет ли повышение цен на мясо (а значит, увеличение доходов кочевников) к уменьшению поголовья скота. Однако на самом деле дополнительные участки, внесенные в модель, практически не изменили ее поведения. На рис. 4.6 показана структура для сравнения, построенная для самой сложной модели из трех — системы SOCIOMAD.

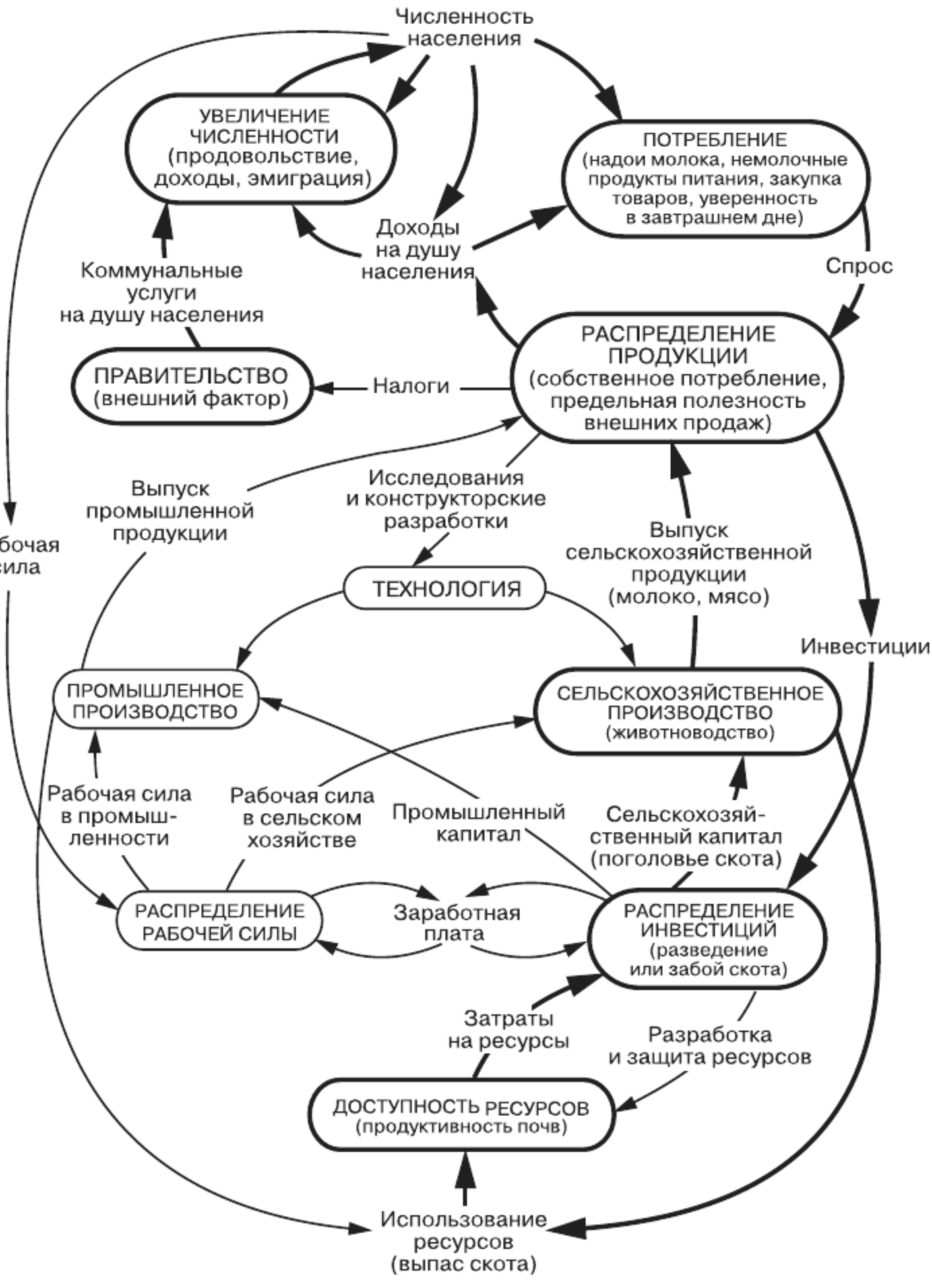


Рис. 4.6. Структура для сравнения, построенная для модели SOCIOMAD. Элементы, взятые в толстые рамки, и связи, отмеченные жирными стрелками, включены в модель. Остальные элементы и связи в модели отсутствуют и показаны для сопоставления

4.6. Данные

Пикарди моделировал систему, для которой практически не существует статистических данных. Он изучал экологические, демографические и экономические вопросы региона Сахель и собирал всю доступную информацию, любой степени детальности. Ему, например, удалось обнаружить, что в Нигере, в местности Тахоа велись записи о поголовье скота и количестве осадков в предыдущие годы, проводились демографические исследования[9]. Пикарди анализировал записи экологов, отчеты антропологов, социологические сводки, статьи в журналах и даже записи колониального правительства, отчитывавшегося перед властями Франции. Практически для всех параметров модели Пикарди мог указать на один или несколько источников информации.

Однако форма данных далеко не всегда была однозначна и с трудом поддавалась численной оценке. Один источник указывал, что восстановление пастбища после перевыпаса может занять несколько поколений[10]. В другом, основанном на наблюдениях, сделанных в южных штатах США, период восстановления оценивался в 80 лет или более[11]. В итоге Пикарди выбрал для модели 80 лет как максимальную продолжительность восстановления почвенных систем после стравливания пастбища. Неточность этой величины можно оценить примерно в 50%.

Для параметров, описывавших культурные реалии, численных данных вообще не было — все выводы делались из устных описаний (например, отчетов антропологов о том, какие решения племя принимало в тех или иных обстоятельствах).

Пикарди посвятил целую главу своей работы определению самых важных численных параметров в модели: потенциальной продуктивности пастбища, ее зависимости от количества пасущегося скота, влиянию ирригации на кормовую базу и т. д. Он всегда мог обратиться к экспертам МТИ — инженерам-гидрологам, экономистам по сельскому хозяйству, так что численные значения в модели точны настолько, насколько позволял тогдашний уровень технологических знаний. Что же касается параметров, описывающих культурные явления и традиции (именно это определяет экологические изменения в Сахеле в долговременной перспективе), то они в принципе не могут быть точными.

4.7. Выводы

За 10 лет до большой засухи в Сахеле был период необычайно обильных осадков, который привел к тому, что и численность населения, и поголовье скота достигли небывалых величин. Даже если в модели предусмотреть полное отсутствие засух, голод наступает все равно, просто несколько позже и с более тяжелыми последствиями, поскольк-

ку население успевает к этому моменту возрасти еще сильнее и пастбищам наносится еще больший урон. Перевыпас логически вытекает из стремления членов племени увеличить свое стадо скота, при этом никто не озабочен сохранностью пастбища — к этому нет ни экономических, ни культурных стимулов. Последствия этого Пикарди назвал «трагедией ресурсов общего пользования: если ресурсы находятся в общей собственности и при этом эксплуатируются в личных интересах, то они непременно будут истощены и разрушены теми же людьми, кто получает от них выгоду»[12].

Пикарди заключил, что пастбища Сахеля долгие годы балансировали на краю равновесия, что системе человек/скот/пастбище свойственна внутренняя неустойчивость. В прошлом нестабильность проявлялась только в периоды жестоких засух. Но сегодня ситуация иная: чем больше помощи мировое сообщество пытается оказать той или иной части системы, тем сильнее она смещается к нестабильности, и опустынивание начинается и разрастается даже в периоды не таких сильных засух. Основная причина нестабильности — отсутствие действенной обратной связи между состоянием пастбища и поголовьем скота. Это заключение было сформулировано уже по модели SAHEL2, а результаты более сложных моделей ECNOMAD и SOCIOMAD его подкрепили.

Пикарди пытался найти пути, чтобы сделать систему более устойчивой, и изучал различные политически приемлемые стратегии. Однако что бы он ни пробовал, включая восстановление лесистых участков и частные стимулы, стабилизации добиться не удавалось. Некоторые варианты вообще давали результаты, противоположные желаемым, — например, повышение реальных цен на скот относительно рынка товаров, ради которых разводят животных, уменьшает количество забиваемого скота и приводит к еще большему увеличению поголовья со всеми вытекающими последствиями. Удалось найти лишь два типа мер, способных увеличить устойчивость системы.

1. Исключить все внешние типы вмешательства, в том числе услуги здравоохранения, бурение скважин, противодействие межплеменным конфликтам, ветеринарную помощь, — система будет стабилизироваться за счет болезней, голода, засух и войн, как это было веками в прошлом.
2. Установить непосредственную обратную связь между состоянием пастбища и допустимым размером стад. Однако обратная связь не должна быть слишком быстрой, иначе скачки в поголовье скота и благосостоянии людей станут даже резче, чем из-за изменений погоды[13].

Второй вариант требует, чтобы поголовье скота осознанно регулировалось, несмотря на то что оно достигло невиданных размеров и что подобное регулирование напрямую противоречило многовеко-

вым жизненным ценностям кочевников. Мало того что такие меры сложно воплотить в жизнь, так они вдобавок вносят дополнительную напряженность, поскольку вызывают резкие скачки в уровне благосостояния и провоцируют эмиграцию, если только в годы засух не обеспечивать регион продовольствием извне[14]. Пикарди пришел к выводу о том, что всех целей, поставленных для Сахеля, одновременно достичь не удастся, придется делать выбор: либо сохранение традиционных культурных ценностей и образа мышления кочевников, либо поддержание экосистемы. С периодическим голодом или постоянным недоеданием удастся справиться только при условии, что численность населения перестанет расти[15].

Пикарди пришел к заключению о том, что подобные проблемы характерны и для других регионов, и в итоговой статье поднял ряд этических вопросов. Следует ли оказывать помощь таким регионам, если она в итоге только усугубляет ситуацию? Имеют ли организации-доноры моральное право вмешиваться в традиционный уклад жизни, проверенный веками? Могут ли в принципе любые программы помощи обойтись без всплеска насилия и коррупции, который обычно их сопровождает?[16]

Заключения Пикарди — прямое следствие того, какие границы он выбрал для модели. Экономическая система кочевых племен ограничена продукцией животноводства, и численность населения Сахеля должна, как и раньше, зависеть только от ресурсной базы, которую предоставляют естественные пастбища региона. Пикарди не рассматривал возможное сочетание технологий, позволяющих увеличить продуктивность пастбищ, с изменением социальных ценностей, что позволило бы кочевникам эти технологии принять. Если бы границы были расширены, допуская импорт продовольствия и энергии в регион или его индустриализацию, то возникли бы другие варианты стратегий. Пикарди на это отвечал, что выбор границ был сделан по результатам поездок и подробных обсуждений «на местах» в трех странах Западной Африки. Для него было очевидно, что индустриализацию нужно проводить в более населенном Судане и что стабильный импорт продовольствия и сырья в Сахель в долгосрочной перспективе невозможен, поскольку у стран региона просто нет для этого ресурсов — ни политических, ни финансовых. «Цена, в которую обойдется любая из этих возможностей, столь велика, что эти варианты исключаются даже без обсуждения»[17].

4.8. Тестирование

Как специалист по системной динамике, Пикарди не придавал значения сопоставлению результатов модели с фактическими данными

за прошлые периоды и не считал это правильным методом для тестирования достоверности модели. Его больше интересовало, определяется ли поведение модели теми же причинами, что и в реальном мире, измеряемые же параметры при этом не имеют принципиального значения[18].

Все результаты, выданные моделью (за одним исключением[19]), представляют собой графики зависимости от времени, построенные за очень продолжительный период. Чувствительность модели к неточности параметров и к значению ключевых переменных проверялась многократными запусками модели с разными наборами настроек и сопоставлением результатов.

В первых прогонах модели **SAHEL2 Пикарди оценивал чувствительность** системы к тем мерам, которые уже пытались принять в регионе: продовольственная помощь извне, бурение скважин, управление пастбищами. В двух других прогонах проверялась зависимость модели от количества осадков — это непредсказуемая величина, и именно такие параметры в первую очередь принято винить, если модель ведет себя странным образом[20]. Расчеты показали, что количество осадков влияет на систему, однако внутренняя неустойчивость структуры усиливает влияние случайностей погоды[21]. Третий набор прогонов показал, что система в какой-то степени чувствительна к изменениям в культурных параметрах, например, относительной значимости материального достатка и социальной инфраструктуры[22]. Здесь же Пикарди показал, что для большого количества переменных в модели ECNOMAD не имеет значения неточность в указании их величин[23].

Последнее тестирование чувствительности системно-динамической модели предусматривает, что при различных сочетаниях неточно заданных параметров модели проверяются заключения о поведении системы и предлагаемые стратегии. Пикарди наглядно продемонстрировал, что проверенные стратегии дают один и тот же принципиальный результат и практически не зависят от количества осадков. На рис. 4.7 показано поведение во времени одного показателя, характеризующего состояние почвы, для четырех разных стратегий, причем в каждой проверялись шесть вариантов для количества осадков. Набор значений 1 (продолжение текущих программ помощи) приводит к большим скачкам и нестабильности системы при общем уменьшении ресурсной базы, каким бы ни было количество осадков. Набор значений 2 (принудительное регулирование поголовья) во всех случаях показывает улучшение состояния почвы, однако некоторая нестабильность сохраняется. Наборы значений 3 (принудительное регулирование поголовья и дополнительная продовольственная помощь) и 7 (те же меры плюс ветеринарная помощь, управление стадами, некоторые экономические программы) демонстрируют улучшение в состоянии системы при меньшей чувствительности к перепадам погоды.

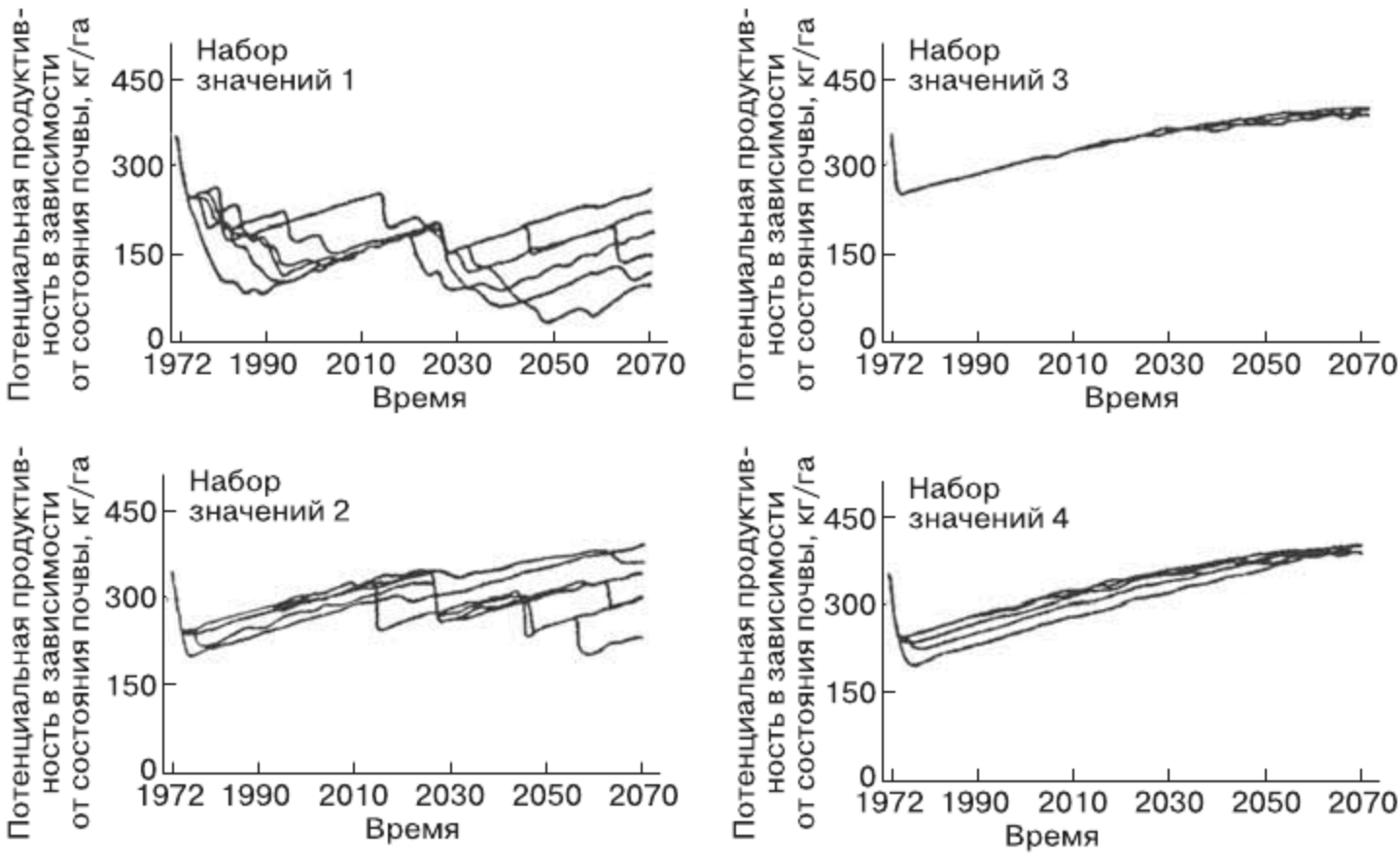


Рис. 4.7. Имитационные расчеты модели SOCIOMAD по состоянию почв для шести различных уровней осадков. Материал приводится по разрешению Э. Пикарди

4.9. Требования к компьютеру

Модели Пикарди не предъявляют особых требований к характеристикам компьютера. Самая большая из моделей, SOCIOMAD, содержит 191 переменную, и несколько прогонов модели не займут много времени. Модели изначально написаны на языке DYNAMO, но их можно переложить на любой язык программирования высокого уровня — Фортран, Бейсик и др.

4.10. Реализация

Модели Пикарди были лишь малой частью большого исследования Сахельского региона и никогда не рассматривались отдельно от него. Не считали их и инструментом для разработки реальных стратегий. Весь Судано-Сахельский проект велся в спешке, в него не были заложены реальные механизмы для принятия решений — ни со стороны Агентства USAID, ни со стороны стран региона. Тем не менее заключения Пикарди несли в себе важную информацию: личные, вполне объяснимые экономические интересы людей ведут регион к экологической катастрофе, а все программы помощи, которые позволяют людям

достичь экономических целей, только усугубляют проблемы. И есть лишь два пути улучшить состояние системы:

1) прекратить помощь, чтобы система могла вернуться из сегодняшнего состояния в характерное для нее историческое прошлое (из двух зол выбрать меньшее), либо
2) перенаправить помощь и поддерживать не достижение экономических целей, а изменение культурных ценностей и создание нового общества, имеющего более высокий материальный уровень жизни и менее уязвимого перед внешними условиями.

Эту модель вполне можно было бы использовать для разработки промежуточных решений и рекомендаций, включающих в себя культурное развитие вместе с другими мерами, однако Пикарди не продвинулся в этом направлении. Видимо, формулировка приведенных выше заключений морально далась так тяжело, что углубляться в эту тему он не отважился.

Итоговый отчет МТИ вместе с материалами Пикарди (они заняли отдельную главу) был представлен Агентству USAID в конце 1974 г. Ответная реакция была более чем прохладной: Агентство не стало публиковать отчет по проекту, не финансировало публикацию результатов МТИ и старалось не афишировать сам факт проведения исследования. Информация не только не распространялась среди широкой аудитории, но даже в Конгрессе мало кто знал о проекте и его результатах.

Однако материалы диссертации Пикарди, как это положено для научных работ, были общедоступны — МТИ выпустил и распространил около 100 экземпляров итогового отчета по проекту. Часть копий предоставили Африканскому подразделению USAID и региональным органам власти Сахеля. Практически весь штат Африканского подразделения USAID был поставлен в известность о том, что исследование проводилось, и довольно многие ознакомились с его результатами. В 1976 г. USAID разработала новую программу развития для Сахельского региона и получила от Конгресса соответствующее финансирование. Отчет МТИ наряду со многими другими материалами был принят во внимание при создании этой программы. В заявке Конгрессу с просьбой о финансировании можно увидеть множество данных, цитат и графиков, заимствованных из отчета МТИ, правда, без указания ссылок. Новая программа сосредоточилась на увеличении сельскохозяйственного производства и не учитывала каким бы то ни было образом ни одно из заключений Пикарди.

В 1979 г. практически полностью обновился персонал Африканского подразделения USAID, при этом новая Сахельская программа продолжала выполняться. Затем внимание Конгресса переключилось сначала на Египет, потом на Южную Африку, и отчет МТИ отложили до лучших времен.

Пикарди успешно защитился, получил степень доктора философии и продолжал использовать системную динамику в других проектах. Хотя некоторые правительственные организации США проявляли интерес к результатам Сахельского исследования, тем не менее для них важнее была сама идея «трагедии общин» и истощения ресурса, а не конкретные проблемы африканских стран. В Эфиопии, например, несмотря на результаты проекта, все последующие модели развития совершенно не учитывали состояния пастбищ. Пикарди был очень разочарован тем, что его исследование так и не нашло практического применения[24]. Он заключил, что модели, предназначенные для общего понимания, могут принести пользу только в том случае, если результаты удастся широко распространить среди тех, кто принимает решения. Но даже в этом случае никто не может поручиться, что решения будут приниматься с учетом выводов, сделанных в исследовании[25].

4.11. Документирование

Содержательный и написанный четким языком отчет по Сахельской модели включен в материалы диссертации Пикарди. Точно такой же отчет был представлен в Агентство USAID. Все уравнения, определения переменных и единицы измерений сведены в приложения. Довольно большая часть диссертации посвящена культуре, истории, экономике и экологии Сахеля. Описания модели и пояснения ее результатов постоянно соотносятся с тем, что происходит в реальном мире. Все источники Пикарди перечислил в техническом приложении к своей диссертации[26], где также строка за строкой разобрал всю компьютерную программу, обосновывая каждое уравнение ссылками на литературу. Кроме того, в документации отражены многочисленные проверки модели на чувствительность.

Ссылки на источники

1 Итоговый отчет встречи по Судано-Сахельской средне- и долгосрочной программе, 28—29 июня 1973 г., Женева, специальное отделение ООН по Сахелю, Нью-Йорк, заявление Дональда С. Брауна. Ход встречи описан в отчете Уильяма Сейферта и М. Камрани: **Summary Report: Project Objectives, Methodologies and Major Findings. Vol. 1. Cambridge, Mass.: Center for Policy Alternatives, MIT, 1974. С. 1.**

2 Там же, первая страница вступления (без номера).

3 Там же, с. 4.

4 *Picardi A.C.* A Systems Analysis of Pastoralism in the West African Sahel: диссертация на соискание степени доктора философии/Массачусетский технологический институт. Февраль 1975. С. 311.

[5] В главе 2 приводится подробное описание парадигмы системной динамики.

[6] Правила приведены в сокращенном виде. Исходный список Джея Форрестера включал 10 пунктов: *Forrester J.W.* Industrial Dynamics. Cambridge: Mass. Press and John Wiley & Sons, New York, 1961. С. 13. Последний пункт в списке Форрестера гласит: «Измените реальную систему в направлении, которое при моделировании показало улучшение состояния системы». В нашем списке он опущен (как и в работе Пикарди).

[7] Ранее упомянутый источник: *Forrester J.W.*, с. 61.

[8] Ранее упомянутый источник: *Picardi A.C.*, с. 109.

[9] Там же, с. 36.

[10] Там же, с. 277.

[11] Там же, с. 277.

[12] *Picardi A.C.*, *Siefert W.W.* A Tragedy of the Commons in the Sahel: технический обзор, май 1976 г., с. 51. Название «**Tragedy of the Commons**» («**Трагедия общин**») заимствовано из довольно известной статьи Гаррета Хардина: *Hardin G.* The Tragedy of the Commons // Science. 1968. С. 162, 1243.

[13] Ранее упомянутый источник: *Picardi A.C.*, с. 105.

[14] Там же, с. 176.

[15] *Picardi A.C.* **Practical and Ethical Issues of Development in Traditional Societies: Insights from a System Dynamics Study in Pastoral West Africa** // Simulations. 1976. 26. С. 1.

[16] Ранее упомянутый источник: *Picardi A.C.*, *Siefert W.W.*, С. 51.

[17] *Picardi A.C.*, информация получена из частной беседы 18 мая 1976 г.

[18] *Picardi A.C.* A Systems Analysis of Pastoralism in the West African Sahel: диссертация на соискание степени доктора философии/Массачусетский технологический институт. Февраль 1975. С. 199.

[19] Матрица для выбора вариантов содержит статистические значения для некоторых переменных по восьми возможным стратегиям. Там же, с. 180—181, табл. 7.4—3.

[20] Там же, с. 133, 210.

[21] Там же, с. 206.

[22] Там же, с. 212—232.

[23] Там же, с. 125, 210.

[24] Там же, с. 216.

[25] *Picardi A.C.*, информация получена из частной беседы 18 мая 1976 г.

[26] *Picardi A.C.* A Systems Analysis of Pastoralism in the West African Sahel: диссертация на соискание степени доктора философии/Массачусетский технологический институт. Февраль 1975. Приложение *F*.

5
ГЛАВА

RfF: превращаем трактор в комбайн

5.1. Организационные вопросы

В сообщении Конгрессу от 18 июля 1969 г. президент Никсон рекомендовал создать Комиссию по росту численности населения и будущему Америки, отметив, что «в ближайшие 30 лет ожидается увеличение численности населения США на 50% » и что при этом у правительства нет сколько-нибудь детального понимания демографических изменений[1]. Комиссия должна была за два года подготовить отчет, разобравшись в следующих вопросах.

1. Каковы вероятные причины роста численности населения, особенности внутренней миграции, демографические подвижки на период с 1970 по 2000 г.?
2. Какие государственные ресурсы экономики потребуется задействовать в связи с ростом численности населения?
3. Как увеличение численности населения может повлиять на работу федеральных, региональных и местных органов власти?
4. Каким будет влияние роста численности населения на окружающую среду и истощение природных ресурсов?
5. Какие могут быть средства (приемлемые с этической точки зрения) для достижения желаемой численности населения, соответствующей запасам природных ресурсов, условиям окружающей среды и другим факторам?[2]

В члены Комиссии с одобрения Никсона вошли 2 домохозяйки, 7 университетских профессоров, 3 специалиста административного профиля, 2 сенатора, 1 президент корпорации, 1 вице-президент большого профсоюза, 3 студента и председатель, Джон Рокфеллер III. В течение двух лет члены Комиссии встречались два-три дня в месяц, и еще 40 человек обслуживали ее работу. Через полгода Комиссия сфор-

мулировала задачи таким образом, что их решение уже можно было кому-то поручить. После этого началось утрясание организационных вопросов, сведение результатов воедино и публичные слушания.

Комиссия заказала почти сотню отдельных исследований. Компьютерная модель, которую мы приводим здесь, — центральная часть самого большого проекта из их числа, и она стала основой последующего эколого-экономико-демографического исследования Комиссии, хотя условия контракта и не обязывали создавать модель. Члены Комиссии составили список вопросов, на которые необходимо было найти ответы. Некоммерческая организация «Ресурсы для будущего» (Resources for Future, RfF) пользовалась хорошей репутацией, ее специалисты считались хорошо подготовленными в области традиционных методов анализа, поэтому работу поручили ей, хотя при этом не указали конкретных методов, которые следовало бы использовать. Как минимум один член Комиссии (ее исполнительный директор) не знал о том, что RfF собирается прибегнуть к математическому моделированию[3].

Руководителем исследования назначили аналитика RfF Рональда Ридкера. На работу ему отвели примерно год, наделив правом привлекать необходимых исполнителей (он им воспользовался, и про это мы еще скажем несколько слов).

5.2. Цели

Цели исследования **RfF и временной диапазон были определены с та**кой точностью, что ни одной другой модели из нашего обзора с ней не сравниться. Организация RfF должна была ответить на четвертый из пяти вопросов Комиссии, а именно оценить «влияние роста численности населения на загрязнение окружающей среды и истощение природных ресурсов в ближайшие 30 лет»[4]. В описании задачи, выданном Комиссией, цель была сформулирована еще более подробно — следовало рассмотреть два сценария: при двух и трех детях в семье в среднем по стране. Методы исследования и оценки загрязнения окружающей среды и природных ресурсов были оставлены на усмотрение RfF.

5.3. Методы

Многие из тех, кто сталкивался с моделированием, отмечают, что создатели моделей редко строят свои исследования на чужих работах. Проект RfF стал исключением из этого правила. Специалисты RfF, строго говоря, сами модель вообще не строили — они пересмотрели уже готовую систему и доработали ее в соответствии со своими целя-

ми. Но внесенные изменения не так просты, как кажется на первый взгляд. Если уподобить исходную модель трактору, то разработчики из RfF превратили ее в многофункциональный комбайн. К исходным механизмам модели добавили ряд новых, чтобы достичь принципиально иной цели, хотя при этом «двигатель» системы остался практически неизменным.

В роли «трактора» выступила межотраслевая модель* Клоппера Элмона, созданная в середине 1960-х гг., чтобы спрогнозировать поведение американской экономики на период 1965—1975 гг.[5] Изменения, внесенные специалистами RfF, превратили выпуск продукции по 90 секторам промышленности, заложенный в исходную модель, в количества различных загрязнителей и потребляемых ресурсов. Исходный временной диапазон продолжительностью в 10 лет расширили до 50 лет (это на 20 лет больше, чем предлагала Комиссия) и заложили два варианта для среднего количества детей в семье. В результате модель Элмона, ранее делавшая выводы о спросе населения на товары и экономическом росте на основе внешних факторов, стала анализировать последствия решений о размере семьи.

Почему межотраслевой баланс был выбран для долгосрочного прогнозирования? Разработчики сочли, что в данном случае были необходимы максимальная детальность, возможность учитывать различные виды и количества отходов и загрязнителей, и это определило выбор метода[6]. Модель **RfF действительно очень подробна. Ресурсы разделены** на 19 видов руд, учтено 5 источников энергии, загрязнение отображается одним видом твердых отходов, семью видами жидких и пятью видами газообразных. Экономика, потребляющая ресурсы и создающая отходы, насчитывает 185 секторов**.

В модели Элмона была сделана попытка использовать межотраслевой баланс как инструмент для получения динамических прогнозов. В принципе, сделать это можно двумя способами: встроить в статичную таблицу «затраты-выпуск» динамическую имитационную модель либо использовать таблицу как бухгалтерский инструмент и управлять ею в динамике за счет постоянного изменения внешних факторов. Элмон предпочел второй вариант, и Ридкер унаследовал его вместе с моделью. Самое интересное и важное в модели RfF — **внешние факторы**, поэтому в нашем описании мы сосредоточимся именно на них, а о таблице затрат и выпуска скажем лишь несколько слов.

---

* Основные особенности межотраслевого баланса (метод «затраты-выпуск») изложены в главе 2.

** Мы упомянули модель Элмона, состоящую из 90 секторов, — она была описана в книге «Американская экономика к 1975 г.». Однако к тому времени, когда организация RfF приступала к работе, у Элмона уже была готова 185-секторная модель. Именно ее использовали в качестве «трактора».

В матрице «затраты-выпуск» используется несколько тысяч зависимостей, устанавливающих однозначную связь между изменением выпуска в одном секторе и соответствующим изменением затрат в другом. Все зависимости между затратами и объемами выпуска линейны. Переменных состояния нет — следовательно, нет и запаздываний. Единственный вид обратной связи в модели вытекает из набора математических процедур, которые уменьшают несоответствия между внешними факторами.

Чтобы система могла изменяться во времени, Элмон вводит внешнее прогнозирование численности населения, производительности труда, уровня занятости, технические коэффициенты производственных процессов и ряд других численных показателей. Некоторые данные заимствованы из других моделей[7]. Все внешние факторы можно разделить на две группы: обобщенные экономические показатели (среднее изменение в производительности труда, расходы на оборонный сектор, привлечение иностранной рабочей силы, уровень безработицы — параметры, основанные скорее на мысленных моделях, чем на статистике) и «структурные прогнозы», как их называет Элмон, — набор технических коэффициентов, управляющих каждым сектором модели (изменение потребительских расходов при увеличении дохода на 1 долл., затраты капитала для увеличения продаж на 1 долл. и т. п.). Некоторые технические коэффициенты Элмон рассчитывает сам, другие берет из работ других авторов[8]. Он очень гибко подходит к вопросам прогнозирования и использует самые разнообразные методы[9]. Если уместно использовать метод наименьших квадратов или нет ничего, что сработало бы лучше, — применяет его. Если он не подходит или есть что-то более точное — прибегает к другим методам[10]. Чтобы описать изменения в производительности труда по секторам, Элмон нанес известные данные на полулогарифмическую шкалу и экстраполировал полученную прямую[11].

Согласовать друг с другом совершенно разные прогнозы было нелегко, и результаты не всегда удовлетворяли Элмона. Он вообще критически подходил к собственной работе и при возникновении противоречий открыто заявлял о них. С учетом сложности задачи и инструментов, которые были в его распоряжении, он смог сделать максимум возможного. Его труд заслуживает большого уважения, и вряд ли в таких условиях можно было получить результаты лучше.

Особую проблему представляло собой расширение временно́го диапазона до 50 лет. Поскольку «двигатель» модели оставался прежним, необходимо было ввести в качестве внешних факторов прогнозы на 50 лет вперед, что представляло собой небывалую задачу, потому что строить их по большому счету было не на чем, кроме мысленных моделей. Чтобы расписать на 50 лет вперед коэффициенты для расчета загрязнений на единицу выпускаемой продукции, пришлось оценить тысячи техни-

ческих взаимосвязей на основе 3- и 5-летних периодов, за которые были собраны довольно фрагментарные данные. Прогнозирование замены одних видов ресурсов другими (например, использование полиолефинов вместо обычной или газетной бумаги, стекловолокна вместо стали и т. д.) часто требует численной оценки процессов, которые только-только вошли в жизнь, а может быть, еще и не созданы.

Чтобы решить эту проблему, разработчики модели подключили к своему исследованию экспертов, которые бы делали обоснованные догадки в тех случаях, когда нет основы для полноценного прогнозирования. Поиск заменителей для ресурсов и выбросы загрязнителей описывала корпорация IRT (International Research and Technology), специализировавшаяся на технологических прогнозах. Так, ее специалисты пришли к выводу о том, что лучшие технологии 1970 г. попадут в разряд средних к 2000 г.,[12] а замена одного вида ресурса на другой будет описываться логистической кривой. Для будущих событий нет накопленных данных, статистика тут неприменима, поэтому IRT прибегала к «оценкам, основанным на разрозненных данных, модифицированных с помощью эвристических методов»[13].

Ридкер и **RfF дополнили метод «затраты-выпуск» хорошо проработанными** внешними прогнозами и в результате добились желаемой подробности. В идеале, конечно, все внешние прогнозы должны были быть увязаны и согласованы друг с другом, поскольку все производственные секторы взаимозависимы. Однако на практике прогнозы больше основывались на мысленных моделях. Стремясь к точности и подробности, Ридкер пожертвовал некоторыми другими потенциальными преимуществами математического моделирования, включая внутреннюю непротиворечивость и прозрачность расчетов. Оправдан ли такой выбор? К этому мы еще вернемся.

5.4. Границы

Комиссия по росту численности населения и будущему Америки поручила организации RfF четко сформулированную задачу. Прежде чем разработчики приступили к собственно моделированию, они сделали формулировки проблемы еще строже, потому что только более узкая постановка задачи позволила бы уложиться в отведенные сроки. Разработчики решили включить в систему только самые необходимые переменные и напрямую связать численность населения и объемы выбросов загрязняющих веществ. Международные аспекты в распределении ресурсов и неравномерное залегание полезных ископаемых по планете были исключены из рассмотрения[14]. Переменные, которые было сложно привязать непосредственно к численности населения и экономическому росту, также исключили[15]. В эту категорию попали, например,

атомная энергия и связанные с ней долгоживущие загрязнители — ядерные отходы и тяжелые металлы. Политические факторы, отношения, общее качество жизни или состояние окружающей среды, синергетический эффект между различными видами загрязнений и прочие сложно описываемые явления не рассматривались по той же причине.

В результате в модель вошли переменные, показанные на рис. 5.1. Чтобы рассчитать внутренние показатели, модели **RfF требовались** детально описанные внешние факторы.

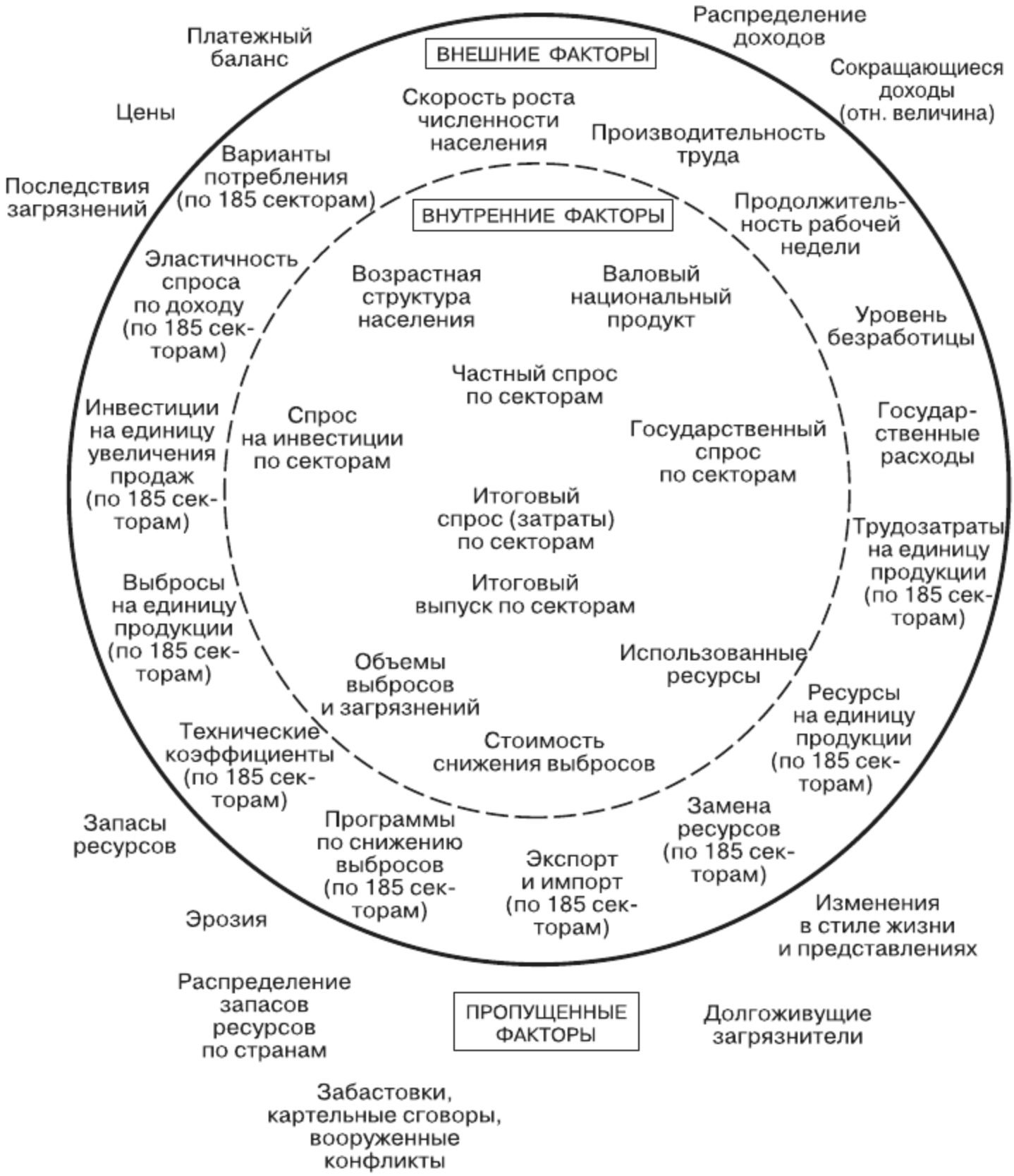


Рис. 5.1. Границы модели RfF

1. Общие прогнозы — рост численности населения, экономический рост, государственные расходы.
2. Влияние этих общих прогнозов на каждый из 185 производственных секторов — изменения в структуре потребления, объеме расходуемых ресурсов, количествах выбросов и отходов на единицу продукции, замена одного вида ресурсов другим и т. п.

Многие из внешних прогнозов включали в себя переменные, с трудом поддающиеся оценке и предсказанию, — например, скорость, с которой атомная энергетика будет вытеснять другие источники; влияние уровня доходов на спрос на автомобили; оперативность, с которой 185 секторов экономики согласуют работу друг с другом.

5.5. Структура

Структурные элементы модели Элмона (матрицу «затраты-выпуск» в сочетании с проработанными внешними прогнозами) мы уже обсудили. Последовательность вычислений зависит от расчета суммарного выпуска за год для каждого из 185 секторов модели, она показана на рис. 5.2.

Этап 1. Прогнозирование внешних переменных (численность населения, производительность труда, государственные расходы по секторам, импорт, экспорт, изменение в уровне занятости и потреблении, ресурсы, загрязнения, технические коэффициенты) на весь временной период модели.

Этап 2. Расчет доступной рабочей силы через численность населения и уровень занятости. Через рабочую силу и производительность труда вычисляется валовой национальный продукт (ВНП) за вычетом государственных расходов, деленный на численность населения и дающий доступный душевой доход.

Этап 3. Доступный доход на душу населения и структурные прогнозы на частный спрос дают частный душевой спрос по каждому сектору. С учетом численности населения это позволяет получить итоговый частный спрос по секторам.

Этап 4. Через итоговые продажи промышленной продукции рассчитываются инвестиции, расходы на строительство и наполняемость складов — для этого используются коэффициенты из структурных прогнозов. Чтобы получить спрос на инвестиции, через набор констант учитываются потребности в средствах для всех 185 секторов (Элмон использовал данные Бюро трудовой статистики США за 1958 г.[16]).

Этап 5. Сложив полученные государственные расходы (этап 1) с частными расходами (этап 3) и инвестициями, затратами на строительство и склады (этап 4), получим итоговый спрос (затраты).

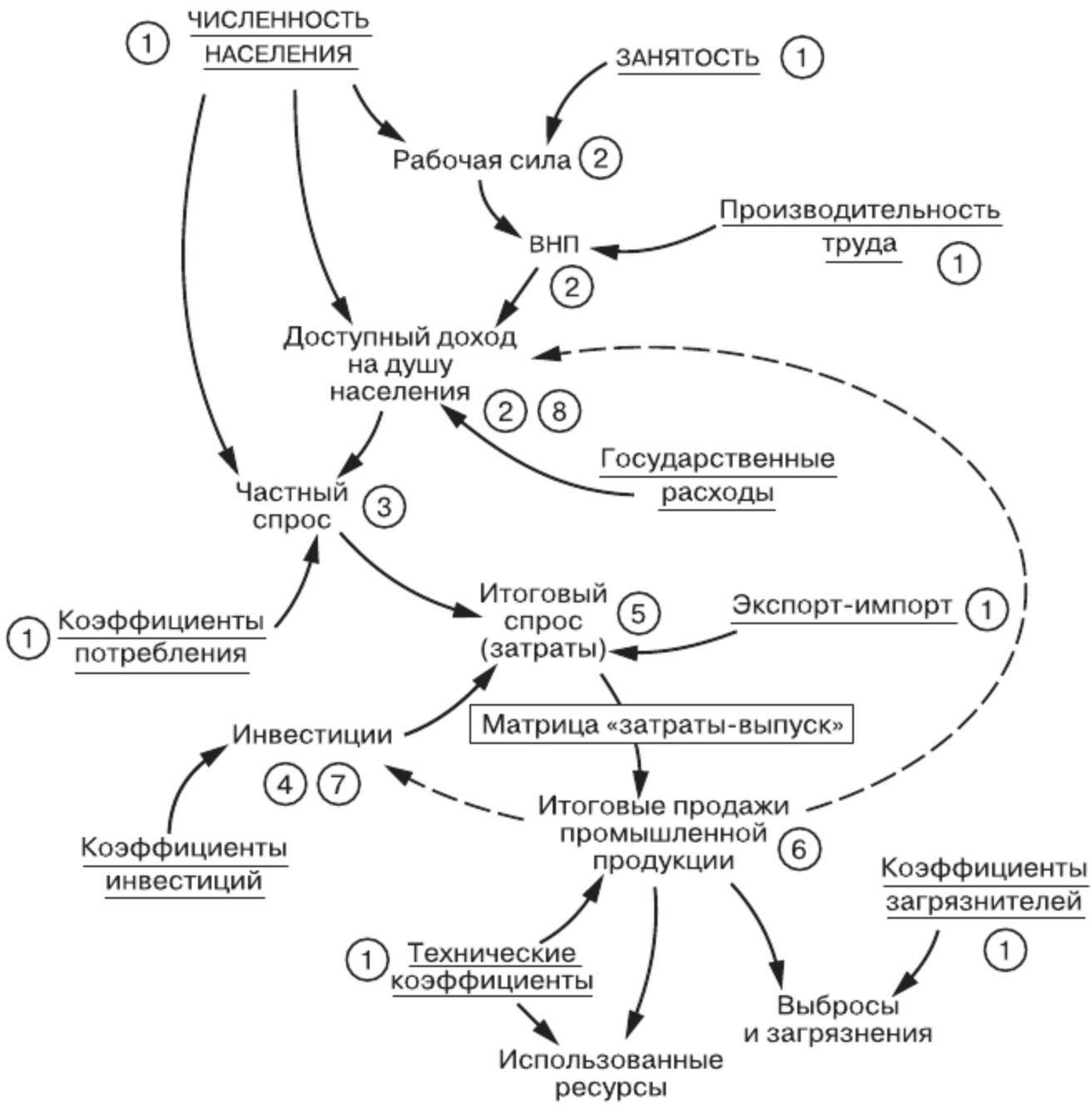


Рис. 5.2. Этапы вычислений в модели RfF. Внешние прогнозы отмечены подчеркиванием; непрерывная стрелка (——►) отображает прямые расчеты; пунктирная стрелка (– – ►) соответствует итерациям, позволяющим добиться точных результатов за счет многоэтапного уточнения

Этап 6. Итоговый спрос (затраты) вносится в матрицу «затраты-выпуск», чтобы получить итоговые продажи промышленной продукции.

Этап 7. Сравнение продаж промышленной продукции, рассчитанных на этапе 6, с прогнозируемыми продажами, использованными для расчета на этапе 4, позволяет решить, необходимы ли уточняющие итерации. Если есть расхождение, вычисления повторяются по этапам 4—7, пока цифры не сойдутся.

Этап 8. Итоговые продажи промышленной продукции (этап 6) и прогнозы по секторам о производительности труда (этап 1) позволяют рассчитывать занятость в разных отраслях. Суммарная занятость рассчитывается путем сложения по всем секторам. Если полученная цифра согласуется с прогнозируемым уровнем занятости (этап 1), то расчет завершен. Если нет, то предполагается, что прави-

тельство применит свою власть, чтобы увеличить доходы*, повысить спрос и тем самым довести занятость до желаемого уровня (считается, что безработица выше 4% нежелательна). Снова рассчитывается душевой доход; этапы 2—8 повторяются, пока цифры не сойдутся.

Фактически такие вычисления позволяют преобразовать ряд не связанных между собой внешних прогнозов в подробную картину совокупного экономического производства. Она будет действительной, если сбудутся все сделанные прогнозы. Это бухгалтерские вычисления в открытой, незамкнутой системе, которые имеют мало общего с тем, как на самом деле работает экономика. Основное внимание сосредоточено на том, как население и структура доходов формируют потребительский спрос. Считается, что спрос стимулирует дальнейшее производство. Итерации просто позволяют уточнить расчеты и привести внутренние переменные в соответствие друг другу. Единственное допустимое несоответствие — расхождение между государственными расходами и налогами (ВНП минус доступные доходы). Его можно варьировать, чтобы обеспечить полную занятость, при этом нет требования балансировать федеральный бюджет в долгосрочной перспективе[17].

Модель **RfF очень похожа на исходную систему Элмона. Добавление** загрязнений и ресурсов сделано без включения в систему обратных связей — ресурсы не истощаются никогда. Цены могут расти в результате внешних прогнозов, но не из-за исчерпания ресурса. Замена одного вида ресурсов на другой никак не зависит от их текущего использования. На рис. 5.3 приведена структура для сравнения; нетрудно заметить, что она не замкнута.

5.6. Данные

Матрица «затраты-выпуск», включающая в себя 185 секторов, содержит десятки тысяч технических коэффициентов[18]. Они получены из бухгалтерских данных, статистики по отраслям и согласованы друг с другом — это непременное требование межотраслевого баланса. Другие численные данные в модели позволяют изменять коэффициенты в матрице «затраты-выпуск» в зависимости от времени.

Параметров в модели так много, что вряд ли кто-либо, кроме ее создателей, может отследить все численные значения и их неточности, проверить чувствительность, смысл и заложенные в них представления, хотя некоторые из показателей опираются на твердое основа-

---

* Вероятный рычаг воздействия — налоги. Расходы, которые несет государство в попытках увеличить спрос, не учитываются.

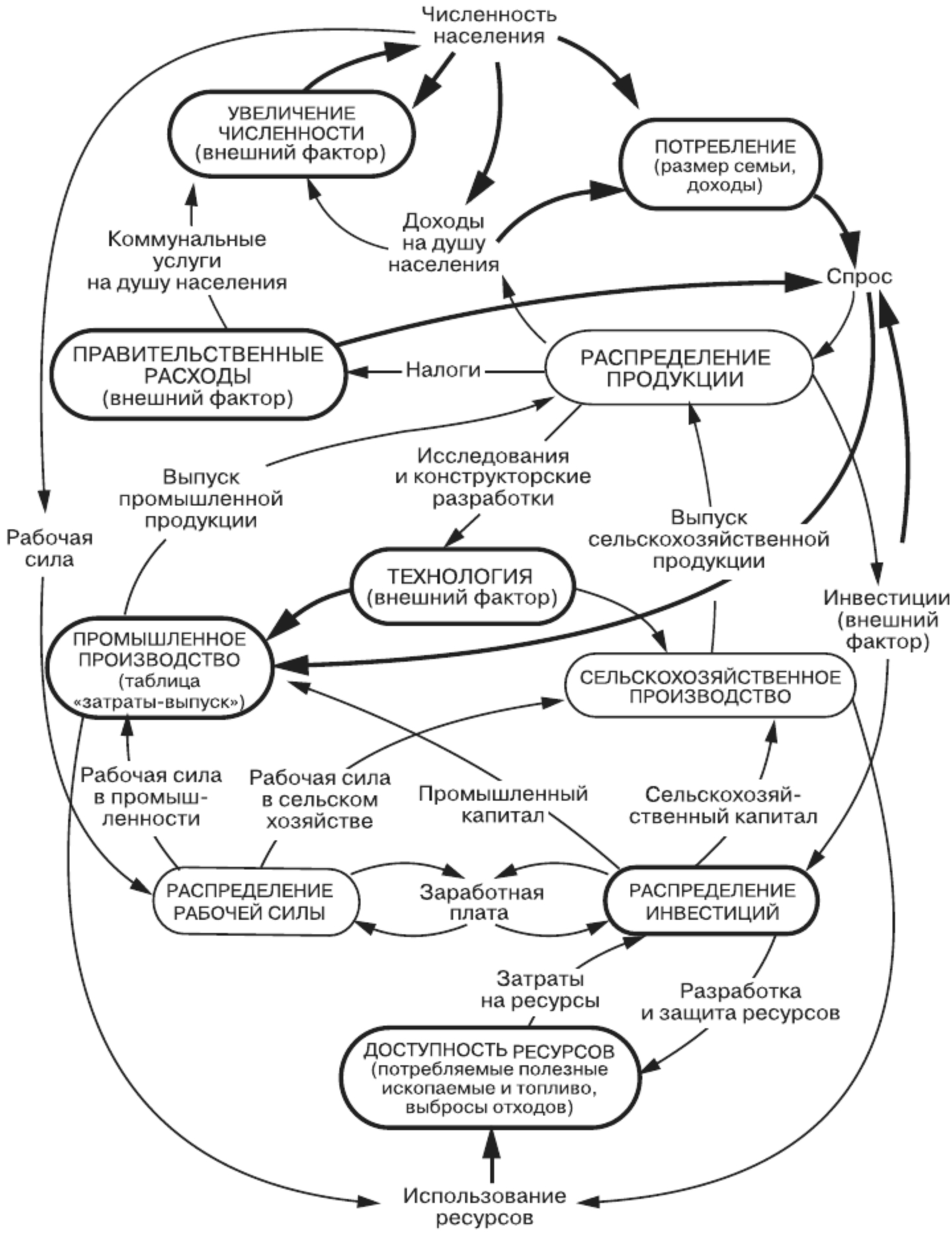


Рис. 5.3. Структура для сравнения, построенная для модели RfF. Элементы, взятые в толстые рамки, и связи, отмеченные жирными стрелками, включены в модель. Остальные элементы и связи в модели отсутствуют и показаны для сопоставления

ние — данные Бюро трудовой статистики США. В свое время Элмон потратил очень много времени, просчитывая и пересчитывая модель, чтобы только добиться соответствия опубликованной статистике[19]. И хотя коэффициенты в модели **RfF могут быть даже точнее, чем у Элмона**, тем не менее стоит задаться вопросом, достаточно ли этой точности для того, чтобы расширить временной диапазон до 30—50 лет.

Источники для некоторых численных значений не указаны, в документации информации об этом нет, так что их происхождение неясно. Табличным данным по различным загрязнителям по секторам отведено много страниц, приводится даже стоимость снижения выбросов[20], однако непонятно, какие из этих численных значений были использованы для формулирования выводов по расходам на уменьшение выбросов и эффективности таких мероприятий.

Обработка, запись и проверка десятков и сотен тысяч переменных, фигурирующих в модели RfF, требуют методичных усилий большой группы специалистов и очень продолжительного времени. Ридкер с коллегами не могли выполнить такой объем работы по проверке за год — это в принципе невозможно. Через несколько лет после того, как модель увидела свет, даже сами разработчики испытывают трудности, восстанавливая наборы переменных, которые использовались при расчетах. И еще бóльшие сложности сопровождают любые попытки узнать, откуда взяты эти численные данные.

5.7. Тестирование

Размер модели **RfF делает ее расчет весьма длительным и дорогостоящим** занятием. В 1972 г. машинное время, необходимое для одного прогона, обходилось в 56 долл. Интерпретация результатов этого расчета требовала полного дня работы специалиста или даже больше[21]. Количество переменных так велико, что объем проверочных работ огромен, можно даже сказать, безграничен. Выполняя по одному прогону в день, можно было бы за полгода выполнить тест чувствительности переменных только для одного из многочисленных наборов по 185 внешних коэффициентов. Результаты таких проверок потребовали бы сложной интерпретации.

Учитывая время, которым располагали разработчики, доступные им материалы и информацию, можно с абсолютной уверенностью сказать, что полноценное тестирование модели не проводилось. Начальная проверка на ошибки моделирования, вероятно, была выполнена, чтобы устранить очевидные нестыковки. Но чувствительность модели не тестировалась. Проверка стратегий ограничилась теми вариантами, которые интересовали Комиссию; несколько тестов были посвящены сценариям со снижением выбросов.

Чтобы ответить на вопросы Комиссии, были изучены четыре сценария.

1. Быстрый рост численности населения — быстрый экономический рост.
2. Быстрый рост численности населения — медленный экономический рост.
3. Медленный рост численности населения — быстрый экономический рост.
4. Медленный рост численности населения — медленный экономический рост.

Под «медленным» ростом численности населения понимается не очень большое среднее количество детей на женщину (2,1 ребенка), «быстрому» соответствует коэффициент фертильности* 3,1. Экономический рост зависит от производительности труда и количества рабочих часов. Значительный рост соответствует увеличению производительности труда на 2,5% в год, при этом рабочая неделя сокращается на 0,24% в год. Низкий экономический рост соответствует увеличению производительности труда на 2,5% в год в сочетании с уменьшением рабочих часов на 1% в год (с сокращением трудовой недели до 29 часов к 2000 г.)[22]. Есть подозрение, что если взять меньший прирост производительности труда или вообще зафиксировать ее на одном уровне, то это очень сильно повлияет на результаты модели, но такая возможность не изучалась.

---

* Авторы книги и разработчики моделей широко используют понятия фертильности и рождаемости. Их следует различать. Фертильность характеризует репродуктивную способность женщины; коэффициент фертильности отражает среднее количество детей, рожденных ею в течение жизни. В странах Западной Европы этот показатель в последние десятилетия составляет менее 2,1 ребенка на женщину, что ниже уровня простого воспроизводства. В то же время в некоторых странах Африки коэффициент фертильности может составлять 7—8 детей на женщину.

В отечественной литературе по демографии для этого показателя часто используется название «коэффициент суммарной рождаемости». При переводе предпочтение намеренно отдано «коэффициенту фертильности», чтобы подчеркнуть его отличие от другого демографического показателя — «общего коэффициента рождаемости», характеризующего количество рождений за определенный период (как правило, год) на 1000 человек. В тексте книги этот показатель часто называют просто «рождаемостью» или «коэффициентом рождаемости». Для сравнения: в некоторых развивающихся странах рождаемость приближается к значению 50 человек на тысячу и даже превышает его, в то время как в промышленно развитых странах этот показатель может быть менее 10 человек на тысячу.

Рождаемость и фертильность связаны друг с другом, однако имеют различную размерность, и расчеты с использованием этих демографических показателей ведутся по-разному. — *Прим. науч. ред.*

Для уровней загрязнения проверялись три сценария для каждого из сочетаний экономического роста и изменения численности населения.

1. Объемы выбросов остаются прежними.
2. Увеличение эффективности на производстве приводит к уменьшению объемов выбросов.
3. Активная политика борьбы с выбросами ведет к снижению их объемов до уровня 1975 г. (по загрязнению воздуха) и 1973 г. (по загрязнению воды), как это рекомендовано Агентством по защите окружающей среды США. Модель рассчитывает стоимость программ по снижению выбросов, однако эти цифры не включаются в итоговые затраты и исключаются из любой категории потребления.

5.8. Выводы

После завершения моделирования некоммерческая организация RfF сделала четыре типа заключений. Во-первых, выводы, касающиеся внешних прогнозов, — их сделали по работам привлеченных исполнителей, занимавшихся технологическим прогнозированием, собрали мнения экспертов и учли другие мысленные модели. Они вполне оптимистичны и предполагают постепенный переход на новые ресурсы (замену редких ресурсов теми, что имеются в наличии), постоянно ускоряющееся снижение выбросов и экспоненциальный рост производительности труда. В модели не учтены такие явления, как забастовки, экономические эмбарго, дефицит ресурсов, засухи, сбои в ценовых механизмах, перерывы в техническом прогрессе — они не проверялись даже в качестве вариантов расчета.

Во-вторых, есть заключения непосредственно по результатам моделирования. В них входят условные прогнозы на количества используемых ресурсов и создаваемые выбросы по 185 секторам производства для вариантов двух и трех детей в семье по четырем сценариям, перечисленным ранее. Эти заключения иногда ставят в тупик, если воспринимать их буквально. Например, при быстром росте численности населения и значительном экономическом росте прогнозируется, что потребление меди в США в период 1968—2020 гг. составит 206 млн т, а вольфрама — 2,16 млн т. Эти количества соответствуют $^{2}/_{3}$ всех мировых запасов меди, известных на 1970 г., и 150% всех известных запасов вольфрама (более $^{2}/_{3}$ которого находятся на территории Китайской Народной Республики).

Были опубликованы лишь некоторые из численных результатов модели RfF, чего и следовало ожидать. Полный прогон модели дает

на выходе сотни страниц с цифрами и, наверное, занимает места даже больше, чем вся документация, собранная воедино. В массе своей эти численные значения бессмысленны, за исключением только демонстрируемых тенденций. К примеру, знание того, что по сценарию 2 в 1991 г. промышленностью будет выброшено столько-то диоксида серы, ничего не даст, если не сравнить эти данные с текущими объемами выбросов или данными другого сценария.

Отдельные численные результаты включены в документацию модели в разделе, посвященном третьему типу заключений, — о том, какие фрагменты результатов правдоподобны, какие не очень, какие очень важны, а какие можно не принимать во внимание. В некоторых случаях этот вывод непосредственно следовал из расчетов. Например, модель четко показывает, что использование ресурсов и выбросы загрязнений больше зависят от экономического роста, чем от увеличения численности населения. Разработчики объясняют это тем, что при уменьшении численности населения увеличится ВНП на душу, что соответствует более высоким доходам и ведет к большему потреблению, — а это в свою очередь практически сводит на нет уменьшение выбросов[24]. В других случаях создатели модели поясняют, почему те или иные результаты не следует воспринимать буквально. Например, в отчете RfF, направленном Комиссии, говорится, что мировых запасов ресурсов недостаточно для того, чтобы удовлетворить потребности в 10 из 19 основных видов минеральных руд, включенных в исследование. Далее следует пояснение, что, вероятно, повышение средних цен позволит разрабатывать менее богатые месторождения и что при одновременном использовании ресурсов-заменителей потребности удастся удовлетворить[25]. В тексте встречается также общее заключение о том, что «нет оснований считать, что предполагаемого уровня жизни не удастся достичь из-за нехватки минеральных руд или ископаемого топлива. Какие-то изменения, конечно, придется осуществить, но ни одно из них не приведет к существенным потерям в материальном благосостоянии в ближайшие полвека»[26]. Это заключение напрямую из модели не следует. Его источник — мысленные модели разработчиков, из-за которых часть результатов расчетов в рассмотрение не принималась.

Главное же заключение по модели **RfF состоит в том, что рост численности населения вызывает отрицательные последствия для общества, поэтому медленный рост предпочтительнее быстрого. Быстрый рост** ведет к исчерпанию ресурсов в масштабах страны и в целом по миру, его сопровождают бóльшие объемы выбросов в окружающую среду и острая зависимость от технологических достижений. Общество располагает меньшей свободой выбора и вынуждено постоянно заниматься решением различных проблем. Меньшее количество детей в семье позволяет стабилизировать численность населения за 50—75 лет,

что дает дополнительное время и возможности для решения застарелых проблем, в свое время спровоцированных ростом. Общество сможет само выбирать, какое будущее для него предпочтительнее[27].

Хотя те же выводы можно распространить и на экономический рост, разработчики модели **RfF очень неохотно говорят о необходимости замедлить** рост в производстве. Ограничение экономического роста позволит уменьшить потребление ресурсов и снизить объемы выбросов в окружающую среду, однако при этом создатели модели настаивают: рост в экономике можно использовать во благо. И хотя он ведет к возникновению и усложнению проблем, одновременно он создает пути для их решения, и в этом принципиально отличается от роста численности населения[28].

Ни организация **RfF, ни Комиссия по росту численности населения** и будущему Америки не стали заниматься исследованием тех самых «путей, которые рост экономики создает для решения проблем». Вместо этого все сосредоточились на последствиях роста численности. Тональность и смысл заявлений в документации создают общее впечатление того, что проблема численности населения еще не стала острой, неразрешимой и угрожающей будущему — США вполне могут себе позволить продолжить рост численности населения и справиться с проблемами, которые он вызывает, за счет высокого уровня технологий и некоторых изменений в стиле жизни. «Это не значит, что в ближайшие 50 лет нехватка ресурсов сказываться не будет, но она вряд ли возникнет как следствие только роста численности населения и экономического роста»[29].

Наконец, четвертый тип заключений дала сама Комиссия по росту численности населения и будущему Америки, после того как ознакомилась с результатами моделирования **RfF. Члены Комиссии интер**претировали результаты расчетов в соответствии со своим пониманием проблемы численности населения, и оно не вполне сходится с выводами разработчиков. Так, в отчете Комиссии, адресованном президенту и Конгрессу США, сказано следующее:

1. Рост численности населения — один из главных факторов, влияющих на потребность в ресурсах и ухудшение состояния окружающей среды в США...
2. Для окружающей среды и ресурсов нет никаких преимуществ в том, чтобы продолжить рост численности населения сверх той скорости, которую определил быстрый рост в прошлом. Состояние значительно улучшилось бы, если бы в ближайшие 30—50 лет произошло быстрое снижение темпов роста...
3. При продолжении роста мы обрекаем себя на ряд проблем: более быстрое истощение... ресурсов, бóльшая нагрузка на окружающую среду[30].

В отчете Комиссии нет слов о том, что экономический рост оказывает бóльшее воздействие на среду, чем рост численности населения. В нем описывается влияние населения на среду, обнаруженное моделью, но почему-то этот результат (не самый важный!) приведен, а другие, более значимые, даже не упоминаются.

5.9. Реализация

Комиссия могла выбирать стратегии из вариантов, предложенных RfF и множеством других исследователей. В ее состав входили многие значимые политические фигуры, члены правительства, промышленники, руководители профсоюзов, ученые. Ее работа освещалась в средствах массовой информации и была на виду у публики, о ней сняли фильм и выпустили большим тиражом книгу. Казалось бы, у Комиссии есть все средства для воплощения результатов моделирования в жизнь.

Однако такое положение налагало свои ограничения. Среди сотен различных предложений Комиссия по росту численности населения и будущему Америки рекомендовала изменить закон об абортах и сделать его менее жестким. В самый разгар предварительных выборов президента, 17 марта 1972 г., заголовки газет по всей стране сообщили, что президентская комиссия голосует за аборты. Президенту Никсону ничего не оставалось, кроме как решительно откреститься от Комиссии. Несмотря на все попытки изменить ситуацию и на то, что Комиссия предлагала много разумных идей, ее репутация так и осталась запятнанной.

Организация **RfF предполагала опубликовать результаты своих изысканий** не только в виде отчета Комиссии, но и отдельно. Ридкер написал несколько научных статей о результатах моделирования и выступил перед Конгрессом[31].

В США до сих пор нет внятной политики по численности населения и даже нет заинтересованности в ее создании, хотя при этом некоторые отдельные рекомендации Комиссии были одобрены (в основном органами власти, не связанными с президентом, — например, рекомендацию о либерализации законов об абортах принял Верховный суд США). Примерно в то же время появились подобные комиссии в других странах, и некоторые из них были практически полными копиями американской.

Ридкер был поглощен проблемой влияния экономического роста и численности населения на доступность ресурсов. Он заключил, что в бедных странах мира ситуация с ресурсами стоит острее, чем в США, поэтому организовал подобные исследования в Индии, Колумбии и Индонезии и нашел для них финансирование. Вел эти работы уже не он сам, и методы использовались другие — проблема ре-

шалась не с помощью его модели, хотя формулировка задачи осталась прежней.

Ридкер был разочарован тем, насколько жесткие временны́е рамки отвела ему Комиссия, — он не успел сделать многое из того, что собирался. В организации RfF финансировали его более полное исследование, с более широко поставленными задачами и не такими сжатыми сроками. Он начал с разработки еще более сложной модели SEAS для Агентства по защите окружающей среды США (частично под руководством Питера Хауса, одного из создателей модели SOS — ее мы опишем в следующей главе). Работы финансировал специальный фонд, конкретного заказчика у нее не было[32].

5.10. Документирование

Изначально команду специалистов RfF наняли для того, чтобы они нашли ответ на конкретный вопрос. Контракт не подразумевал создания модели. И хотя Комиссия приняла модель как метод исследования, тем не менее она не рассматривала ее как техническое изделие, которое должно обязательно сопровождаться документацией. Создателей модели просили ответить на самые общие вопросы и по-
яснить, как они работали. Нет никаких свидетельств того, что от них требовали документацию или другие технические материалы. Два существенных раздела документации были опубликованы только по запросу директора исследования RfF[33]. Группа разработчиков должна была за год успеть создать и проверить сложную модель — это очень жесткие сроки. Времени на подробную документацию просто не оставалось.

Уже после окончания исследования были написаны три статьи о том, как работает модель RfF или ее части. Одна посвящена изменениям, которые учитывают размер семьи[34]. Другая представляет собой отчет из двух частей, подготовленный аналитиками из корпорации IRT и описывающий процесс технологического прогнозирования, в ходе которого определялись технические коэффициенты матрицы «затраты-выпуск» и коэффициенты, связывающие загрязнения с продажами продукции[35]. В третьем материале приводится общее описание модели — оно публиковалось в восьми частях в изданиях Комиссии[36].

Первые два из этих материалов — тщательные и подробные описания вспомогательных исследований. Третий — достаточно пространное, общее описание модели, дающее представление о том, что в ней есть составные части, но без полноты и подробностей, необходимых для критической оценки любой работы. Если добавить к этому списку книгу Элмона и сложить все материалы вместе, то можно понемногу, шаг за шагом разобраться в том, как модель отражает мир.

Уравнения модели не публиковались ни в каком виде. Внешние переменные, вводимые в модель, систематически не описывались, а некоторые не упоминались вообще. Чтобы составить более или менее адекватное представление о работе, необходимо обратиться к документации Элмона, при этом нигде нет материалов, в которых бы точно перечислялись все различия между исходной моделью Элмона и ее переработкой, выполненной специалистами RfF. В материалах нет и важных данных о результатах расчетов. Например, нет графиков потребления энергетических ресурсов, что не позволяет проверить заявление Комиссии: «Столкнется ли разросшееся человечество с нехваткой топлива или серьезным ухудшением окружающей среды в процессе добычи или выработки необходимого топлива, зависит от будущего развития технологий»[37].

Если подвести краткий итог, можно сказать, что разработчикам RfF удалось за год создать чрезвычайно сложную модель и описать ее в отчете, который носит общий, качественный, нетехнический характер. Созданием рабочей документации на модель никто не занимался, уравнения нигде не приводились, и даже внутренние записи по ходу проекта толком не велись. Даже сами разработчики не в состоянии воспроизвести прогоны и результаты, на которых основаны их заключения.

Ссылки на источники

1 Сборник новостей Конгресса: U.S. Code Congressional and Administrative News, 91st Congress, Second Session, 1970: Laws and Legislative History, St. Paul, Minn., West Publishing Company, 1971 г., с. 2542—2543.

2 Там же, с. 2540—2541.

3 Информация получена в беседе с Чарльзом Вестоффом, исполнительным директором Комиссии по росту численности населения и будущему Америки.

4 Ранее упомянутый источник: U.S. Code Congressional and Administrative News, PL 91—213, с. 2541.

5 Информация приводится в книге: *Almon C., Jr.* The American Economy to 1975: An Interindustry Forecast. New York: Harper & Row, 1966.

6 Материалы Комиссии по росту численности населения и будущему Америки: **U.S. Commission on Population Growth and the American Future, Population** Resources and the Environment, *Ridker R.G.* (ред.). **Vol. III of Commission** research reports, Washington, D. C., Government Printing Office, 1972. С. 37.

7 Ранее упомянутый источник: *Almon C.*, с. 110, 120.

8 Там же, с. 14.

9 Там же, с. 13.

10 Там же, с. 55—60.

[11] Полное описание см. там же, с. 39—41.

[12] Ранее упомянутый источник: *Ridker R.G.*, с. 47.

[13] См. работу: *Ayres R.U.*, *Noble S.*, *Overly D.* Effects of Technological Change on, and Environmental Implications of an Input-Output Analysis for the United States, 1967—2020, Part 1, Technological Change as an Explicit Factor of Economic Growth; подготовлен для организации RfF корпорацией IRT, Washington D.C., IRT-219-R/I, декабрь 1971 г.

[14] *Ridker R.G.*, информация получена в частной беседе.

[15] *Ridker R.G.* Population, Resources and the Environment: отчеты «The Commission on Population Growth and the American Future Research Reports». No. 3. United States Government Printing Office, 1972. С. 25.

[16] Ранее упомянутый источник: *Almon C.*, с. 16.

[17] Там же, с. 17.

[18] В матрице подозрительно много нулевых коэффициентов. Таким образом, суммарное количество технических коэффициентов, вероятно, меньше 34 225 (матрица 185 × 185).

[19] Ранее упомянутый источник: *Almon C.*, с. 134.

[20] См. материалы: *Ayres L.*, *Gutmanis I.*, *Shapanka A.* Effects of Technological Change On and Environmental Implications of an Input-Output Analysis for the United States 1967—2020, Part II, Environmental Implications of Technological and Economic Change; анализ подготовлен для организации RfF корпорацией IRT, Washington, D. C., IRT-229-R/I, декабрь 1970 г.

[21] *Ridker R.G.*, информация получена в частной беседе.

[22] Ранее упомянутый источник: *Ridker R.G.*, с. 21, с. 47—48. Ридкер отмечает, что предположения о производительности труда и продолжительности рабочей недели можно взаимно заменять (т. е. использовать те же рабочие часы, варьируя прирост в производительности труда) — результаты модели будут такими же.

[23] Рассчитано по табл. 4.1 и 4.2, ранее упомянутый источник: *Ridker R.G.*, с. 83—85 и 87—88.

[24] Ранее упомянутый источник: *Ridker R.G.*, с. 45.

[25] Там же, с. 23.

[26] Там же, с. 24.

[27] Там же, с. 19.

[28] Там же, с. 19.

[29] *Ridker R.G.* To Grow or not to Grow: That's not the Relevant Question // Science. 1973. 28 декабря, с. 1315.

[30] См. материалы: Commission on Population Growth and the American Future, Population and the American Future. New York: Signet, 1972. С. 56.

[31] *Ridker R.G.* To Grow or not to Grow: That's not the Relevant Question // Science. 1973. 28 декабря. С. 1315—1318; *Fisher J.L.*, *Ridker R.G.* Population

Growth, **Resource Availability and Environmental Quality // American Economic** Review. 1973. LXIII, No. 2; *Ridker R.G.* **Resource and Amenity Implications** of Population Changes // Population and Economic Policy. 1974. 64, No. 2; **материалы выступления в Конгрессе: Testimony before the Subcommittee on Priorities and Economy in Government of the Joint Economic Committee**, U.S. Congress, R.G. Ridker, 20 декабря 1973 г.

[32] *Ridker R.G.*, информация получена в частной беседе.

[33] Ранее упомянутый источник: *Ayres R.U.* с коллегами; ранее упомянутый источник: *Ayres L.* с коллегами.

[34] *Herzog H.W., Jr.* A Method for Recognizing «Demographic Specific' Family Expenditure Pattern Shifts in Long-Run Personal Consumption Functions», рабочие материалы организации RfF.

[35] Ранее упомянутый источник: *Ayres R.U.* с коллегами; ранее упомянутый источник: *Ayres L.* с коллегами.

[36] Ранее упомянутый источник: *Ridker R.G.*, 1972.

[37] Ранее упомянутый источник: Commission on Population Growth and the American Future, с. 60.

6
ГЛАВА

SOS: идеально приспособленное общество

6.1. Организационные вопросы

Модель SOS (State of the System, состояние системы) создали Питер Хаус и Эдвард Уильямс. Проект с самого начала финансировало Агентство по защите окружающей среды США (Environmental Protection Agency, EPA). Идея исходила от Хауса, штатного сотрудника агентства — он хотел продемонстрировать полезность компьютерных моделей как инструмента для разработки стратегий и изучения связей между природными и социальными системами.

Агентство EPA поручило Хаусу разработать прототип модели, и он обратился за помощью к Уильямсу, работавшему тогда в компании CRW. Через восемь месяцев уже была готова модель SOS-1, документация по которой была представлена в виде официального отчета[1]. В тот же период Агентство EPA резко сократило ассигнования на социально-экономическое моделирование, и финансирование проекта SOS прекратилось (хотя при этом продолжала использоваться «более надежная»[2] модель SEAS, появившаяся при поддержке EPA как клон описанной ранее модели RfF).

Хаус и Уильямс, покинувший к тому времени компанию CRW и поступивший на работу в EPA, продолжили работать над моделью в фоновом режиме, в дополнение к своим обычным обязанностям. С одобрения EPA, но без особой поддержки они совершенствовали модель, благо на это было время. Итоговый отчет по доработанной модели SOS-2 создатели опубликовали в виде книги[3]. Ее рукопись готовилась уже после того, как Хаус и Уильямс покинули EPA.

Агентство по защите окружающей среды не препятствовало созданию модели SOS и на первых порах даже поддерживало его. Однако было бы преувеличением сказать, что EPA было полноценным спон-

сором или заказчиком. Ни тот, ни другой статус не отражают в полной мере взаимосвязь между EPA и проектом. Модель SOS создавалась как увлечение, своего рода хобби, с целью продемонстрировать скептически настроенным государственным организациям и агентствам, что моделирование можно использовать, чтобы вникнуть в проблемы окружающей среды и природопользования.

6.2. Цели

Во введении к книге о модели SOS Хаус и Уильямс представили свое ви́дение проблем, связанных с окружающей средой. Они отмечали, что:

1) со времен Мальтуса сторонники его школы предрекали миру самые страшные бедствия;
2) предсказанные последствия всё никак не наступали, обществу всегда удавалось как-то приспособиться или обойти проблемы, связанные с ростом;
3) мальтузианские идеи снова в моде: «Либо нас постигнет участь транжир и расточителей (когда мы исчерпаем один ресурс или более), либо мы захлебнемся в собственных отходах, и таких предсказаний море»[4];
4) «большинство усилий по анализу пределов оказываются либо доморощенными теориями, либо несвязными частными идеями и очень грубыми приближениями к совокупной системе»[5];
5) несмотря на способность социальных систем приспосабливаться к физическим пределам или избегать их, пределы продолжают существовать и должны учитываться при долгосрочном планировании.

Уже из названия понятно, что модель **SOS предназначена для изу**чения состояния системы и призвана иллюстрировать другую теорию: о взаимодействии человеческого сообщества и физических пределов. Она включает в себя механизмы приспособления, а не только добровольное замедление роста численности населения и экономики. Хаус и Уильямс рассчитывали также, что на основе системы SOS можно будет отрабатывать различные стратегии и строить другие модели. Они настаивали на целостном подходе к планированию и задавались вопросом, в каких случаях для планирования применимы методы экстраполяции, продолжение текущих тенденций, а в каких этот инструмент непригоден. В случаях, когда экстраполяция не помогает, Хаус и Уильямс предлагали использовать имитационные компьютерные модели. Свою систему они предназначали для «сравнения раз-

личных сценариев для достижения общенациональной цели», однако при этом не считали ее готовым инструментом для разработки стратегий. Ее основное использование они видели в обучении и проведении исследований[6].

Фактически назначение модели SOS — **изучение и общее понимание** эколого-экономических взаимосвязей. Ее создали, чтобы продемонстрировать, что компьютерное моделирование — очень действенный метод для разработки стратегий в долгосрочной перспективе. Модель появилась не по заказу какой-то организации и не в ответ на какой-то конкретный вопрос — это скорее инструмент обучения. В какой-то степени она позволила своим создателям удовлетворить научное любопытство и достичь профессиональных целей, а лицам, принимающим решения, продемонстрировала долговременные последствия сегодняшних действий.

6.3. Методы

SOS — имитационная модель, на которую очень сильно повлияли основные идеи кибернетики и общей теории систем, но при этом она не ограничена пределами какой-то конкретной парадигмы моделирования. В ней нет очевидных статистических процедур оценки и экономических элементов, которые указывали бы на классическую теорию экономики, не используются матрицы межотраслевого баланса или оптимизационные процедуры. Хотя в модели есть обратные связи, тем не менее нет попыток привязать ее поведение к их структуре, практически не делается упор на запаздывания по времени и нелинейности. Если что и повлияло на модель и стало ее центральной идеей, так это экология. В документации упоминается модель Лотки-Вольтерра, описывающая рост популяций[7], приводятся цитаты из К.С. Холлинга, известного создателя экологических моделей[8]. Все это свидетельствует о том, что Хаус и Уильямс хорошо ориентируются в источниках по экологическому моделированию.

Пожалуй, правильнее будет описать модель как общую имитационную детерминированную систему, построенную в основном (но не полностью) на идеях экологии. Метод нешаблонный. Видимо, разработчики предпочли не прибегать к стандартным решениям, а задались вопросом «Как это можно отобразить лучше всего?» по каждому процессу и уже на этой основе делали выбор. Как и следовало ожидать, в сложной модели такие эксперименты привели не только к ряду очень удачных находок, но и к определенным натяжкам.

В построении модели и структуре документации на нее прослеживается влияние Фортрана. Для программ на этом языке характерно большое количество конструкций «**IF...THEN», включающих либо вы-**

ключающих определенный тип поведения, хотя существуют нелинейные механизмы, позволяющие плавно переходить от одного к другому. Фортран относится к языкам программирования, использующим категории, — в первую очередь они рассчитаны на то, чтобы оперировать большими одномерными или двумерными массивами (векторами и матрицами). В нем нет никаких запретов на использование обобщенных переменных, но он настолько удобен для работы с группами и категориями, что подробность и детальное разбиение достигаются без особых усилий.

В модели SOS можно увидеть обе эти особенности Фортрана. Она резко переключается с одного вида поведения на другой — например, программы переработки отходов или замена одних ресурсов другими начинают действовать сразу, как только запас ресурсов оказывается меньше некоего заданного предела. Модель настолько подробна и так широко использует деление переменных на категории, что все процессы проходят через многократные расчеты по большому количеству переменных — используются математические операции с матрицами.

Для системы SOS характерно также использование математических свойств переменных. Часть из них — переменные состояния (численность населения, величина капитала, запасы ресурсов), в них накапливаются изменения, происходящие с системой за долгое время. Многие процессы управляются константами или полуконстантами (так можно назвать величины, которые имеют лишь два значения — сначала работает одно, а после достижения системой определенного состояния включается второе, либо параметр последовательно принимает ряд дискретных значений). В модель в явном виде включено несколько запаздываний по времени — довольно много задержек заложено в переменных состояния. В системе есть и нелинейности. В модели **SOS-2 в буквальном смысле всё взаимосвязано, система полностью** замкнута.

Она создавалась как общая структура, которая могла бы представлять любую страну или регион, — надо лишь ввести соответствующие численные параметры. Версия модели **SOS-2, описанная Хаусом и Уильямсом** в их книге, настроена на отображение США.

6.4. Границы

Модель должна имитировать долгосрочные события, ее расчеты начинаются 1970-м годом и ведутся до 2000 г. Внесенные позже дополнения расширят этот диапазон до 2020 г.

Моделируемая страна или регион делятся на четыре сектора, которые мы дальше будем называть подсистемами. Суть модели состоит во взаимодействии этих подсистем.

1. Численность населения.
2. Ресурсы.
3. Экономическое производство.
4. Социальные механизмы приспособления и адаптации.

Численность населения зависит от рождаемости, возрастной структуры, смертности, миграции, изменений в профессиональном распределении работников и некоторых дополнительных требований. Ресурсы представляют собой запасы, которые могут увеличиваться или уменьшаться. Некоторые из них ежегодно восполняются, для некоторых других можно применять вторичную переработку, третьим можно найти замену. Экономическое производство зависит от потребительского спроса и связано с финансовыми вложениями, производственным капиталом, обслуживанием, новыми инвестициями, ресурсами, борьбой с отходами и загрязнениями, импортом и экспортом. Механизмы приспособления и адаптации оперируют такими параметрами, как продовольствие на душу населения или качество воздуха, сравнивают эти показатели с заданными («стандартными») требованиями и пытаются привести систему к этому состоянию.

Все переменные в системе внутренние (см. рис. 6.1). Извне вводятся только коэффициенты, от которых зависит переключение режимов, и «стандартные» значения. В чем-то коэффициенты похожи на те, что использовала модель RfF, **однако в ней они указывались на все грядущие** 50 лет и полностью определяли поведение модели. В системе SOS коэффициентами задается лишь схема поведения, детально же оно зависит от того, что будет происходить по ходу расчетов. Вместо того чтобы указывать, сколько меди потребуется на единицу промышленной продукции в 1990 г., как это делала модель RfF, коэффициенты SOS задают количество меди на единицу продукции для любого года, если цена на медь превысит пороговое значение X, при том что цена заменителя меди останется меньше, чем значение Y.

Уровень детальности в модели можно легко изменить, увеличивая или уменьшая количество данных в каждой подсистеме. Модель может включать в себя как 10 видов ресурсов, так и 100 — единственная разница будет в том, что для второго варианта потребуется более длинный список начальных данных, и столь же длинной окажется выдача результатов. Демонстрационная модель SOS-2 с настройками для США имеет средний уровень детальности. В нее входят 18 видов ресурсов, 12 секторов производства, 24 группы населения и 12 стандартов.

В модели заметно отсутствие каких-либо сбоев или перерывов в поведении — механическая система постоянно подстраивает параметры. Снижение загрязнений выполняется автоматически, хотя внедрение таких технологий может занять несколько лет. Фонды постепенно перемещаются между составляющими системы в соответствии с те-

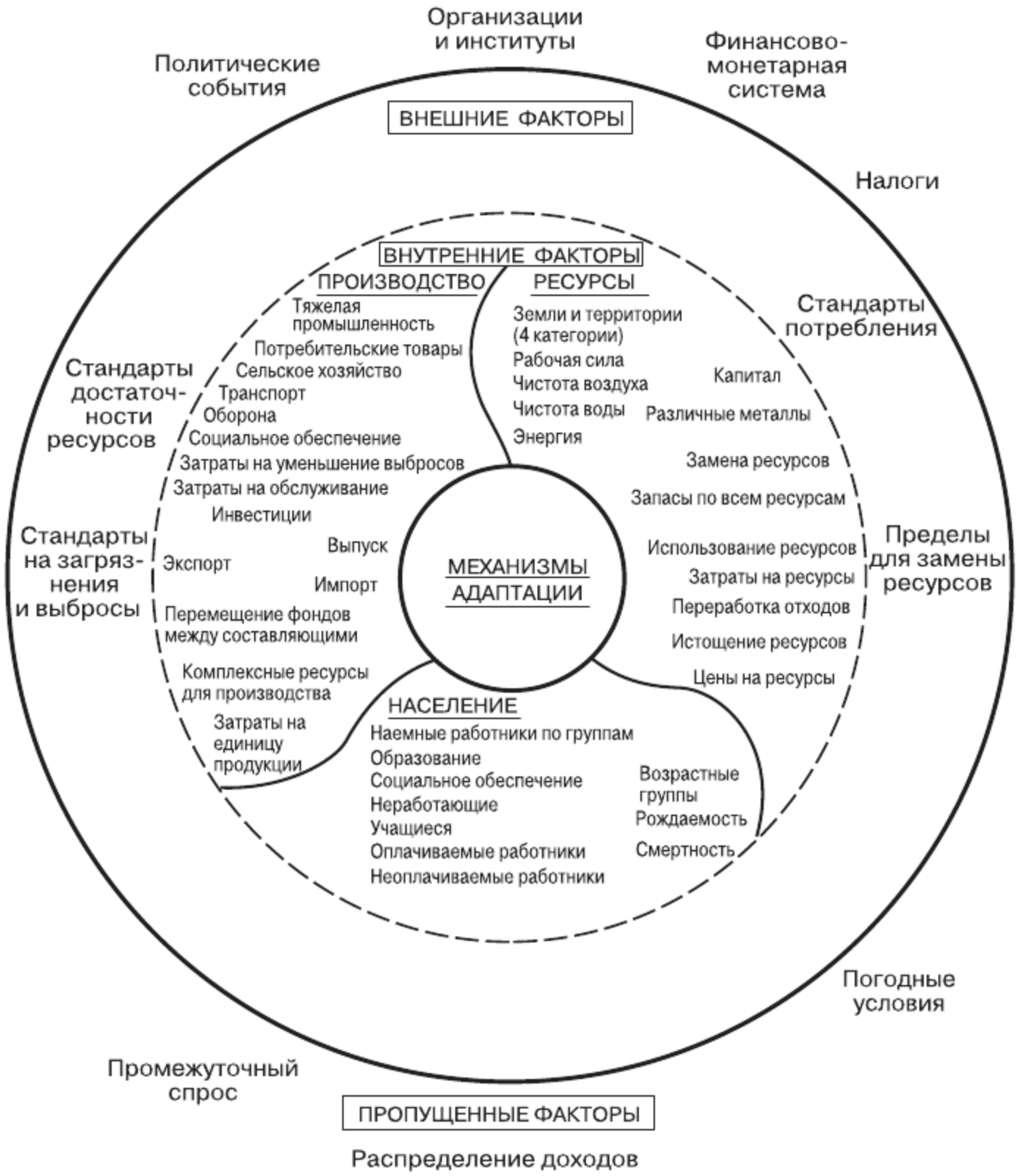


Рис. 6.1. Границы модели SOS

кущими потребностями. Нет отклонений, запаздываний или ошибок в том, как система воспринимает проблему загрязнений или нехватку ресурсов, нет политических противостояний, нет конфликта интересов и субоптимизации, при которой все действия направлены на благо определенной группы. Единственные расходы, связанные с адаптацией системы, — средства, вкладываемые в увеличение капитала.

В модели **SOS-2 не предусмотрено разрушение возобновимых ресурсов** из-за слишком интенсивного использования и нет влияния на систему извне. На модели не сказываются эрозия, истощение ресурсов в международном масштабе, войны, проблемы с платежным балансом,

погодные условия. Некоторые показатели, относящиеся к распределению доходов, наверное, при желании можно «вытащить» из модели, однако в явном виде такое распределение не задано.

Модель **SOS-2 не задается вопросом о том, как географически распределены ресурсы**: между локальными месторождениями и импортом сырья нет разницы. В зависимости от заданных настроек система может иметь доступ либо ко всем мировым ресурсам, либо только к локальным. В любом случае вопрос о доступности ресурсов и внешнем влиянии на них обходится стороной.

6.5. Структура

Строение модели **SOS похоже на совокупность механизмов саморегуляции**, которых множество в любом живом организме. Мозг с помощью обратных связей высшего уровня контролирует работу подсистем и органов, которые обладают частичной саморегуляцией на своем уровне. В модели SOS функции мозга выполняет механизм адаптации, он проверяет относительное состояние частей системы, сопоставляет его с желаемым по данным обо всей системе и направляет поведение частей таким образом, чтобы поддержать здоровье системы в целом.

Другими словами, четыре подсистемы в модели с их обратными связями выстроены иерархически. Три из них занимают нижний уровень — численность населения, производство и ресурсы (причем каждая подразделяется на ряд элементов и частично регулируется внутри себя). Четвертая подсистема занимает высший уровень иерархии — это механизм приспособления и адаптации. Он отслеживает относительное состояние нижних уровней и вносит коррективы, чтобы предотвращать нежелательное поведение. Эти два уровня иерархии основаны на принципиально разной информации о социальных системах. На нижнем отражаются довольно хорошо изученные физические процессы (производство, инвестирование средств, образование отходов, использование ресурсов, воспроизводство населения и т. п.). Верхний уровень отвечает за такие трудноформализуемые процессы, как восприятие, социальная адаптация, постановка целей, техническое совершенствование, смена ценностей.

Рассматривая структуру модели, нужно сказать несколько слов про каждую из четырех ее подсистем, начиная с трех «органов» и заканчивая «мозгом».

1. Население

Численность населения в модели SOS изменяется за счет рождаемости, смертности и миграции. Каждый из этих процессов зависит от теку-

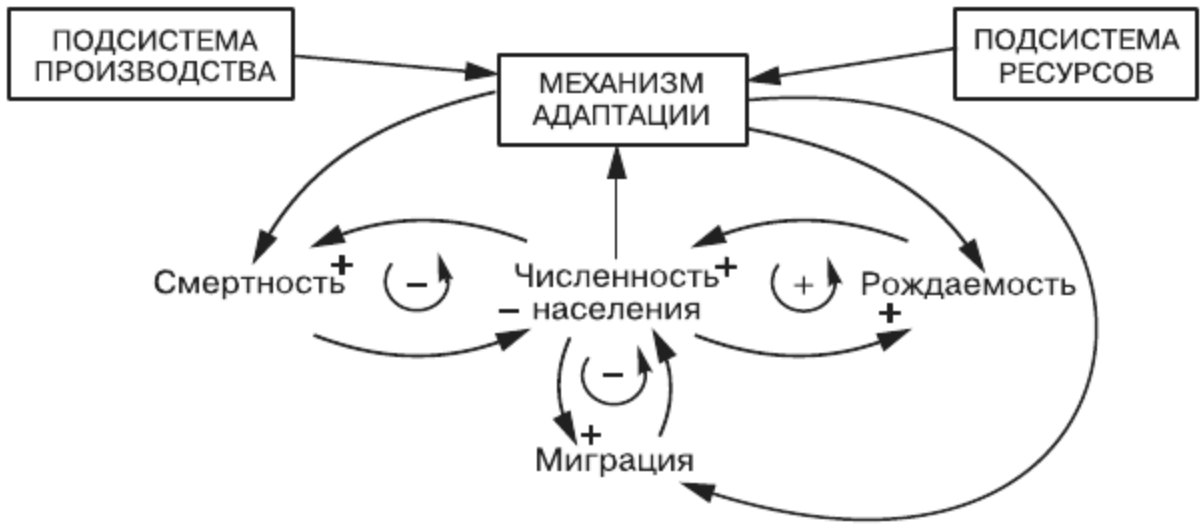


Рис. 6.2. Структура обратных связей в подсистеме населения в модели SOS

щей численности, что отражается соответствующим коэффициентом, так что в системе присутствуют обычные петли обратных связей (см. рис. 6.2). Коэффициенты пропорциональности приходят в эту подсистему от «мозга» модели и зависят от того, как он оценивает текущее состояние системы.

Возрастная структура моделируется за счет разбиения всего населения на группы, каждой из которых соответствуют свои уровни рождаемости, смертности и миграции. Внутри групп есть дополнительное деление по типам потребления, которые создают спрос на производственную продукцию и услуги. В таком делении учтены те, кто получает образование, о ком заботятся службы социального обеспечения, безработные, оплачиваемые и неоплачиваемые работники и т. д. Распределение населения по группам происходит в соответствии с линейной зависимостью относительно результатов экономического производства по секторам за предшествующий год. Так, если увеличивается объем образовательных услуг, то в текущем году больше населения сможет получить образование. Если растет выпуск промышленной продукции, то больше населения перейдет в группу оплачиваемых работников. Если суммарное количество работников недостаточно, чтобы удовлетворить спрос на рабочую силу, то каждый сектор производства получит долю работников пропорционально своим потребностям, и ни у одного из них не будет преимущества перед остальными.

2. Производство

Экономическое производство в модели SOS поделено на 12 секторов: пять имеют общественную значимость (образование, транспорт, здравоохранение, безопасность и управление), семь относятся к частным секторам (сельское хозяйство, производство товаров краткосрочного пользования, производство товаров длительного пользования, телекоммуникации, розничная торговля, сфера услуг и добывающая от-

расль). Для распределения по 12 секторам производства используются принципиально те же математические зависимости — различия между секторами описываются коэффициентами. Например, производство товаров длительного пользования описывается высокими коэффициентами использования ресурсов, в то время как в образовании они имеют относительно низкое значение.

Каждый сектор производит определенный вид продукции и услуг. Их количество равно частному от деления средств, затраченных на этот сектор, на количество ресурсов, приходящихся на единицу продукции (см. рис. 6.3). Затраты на единицу продукции зависят от того, сколько ресурсов в ней используется (с учетом их относительной доступности и использования заменителей, что определяет механизм адаптации) и сколько стоит единица ресурсов. В понятие «ресурсы» входят не только сырье и руда, но также капитал и рабочая сила. Затраты на единицу ресурсов рассчитываются в подсистеме ресурсов как функция от недостатка имеющихся запасов, который в свою очередь определяется предыдущими циклами производства и их влиянием на остающиеся запасы.

Из имеющейся документации сложно понять, как определяются средства, выделяемые каждому экономическому сектору на производство. Описание подсистемы производства грешит неполнотой и отличается от других глав, описывающих общие характеристики модели SOS и ее модифицированного варианта SOS-2. Насколько нам удалось понять, доступные каждому сектору средства экспоненциально увеличиваются, причем скорость роста зависит от потребительского спроса,



Рис. 6.3. Расчет выпуска продукции в модели SOS

который рассчитывается в подсистеме населения, и от корректировок, которые дает механизм адаптации. Получаемые средства нельзя направить на производство целиком — какая-то часть должна отводиться на обслуживание. Такие затраты можно разделить на три вида: обычные расходы на обслуживание (зависят от величины капитала), расходы на расширение производства (инвестиции в расширение), затраты на уменьшение выбросов и загрязнений. Расходы на обычное обслуживание и ограничение загрязнения рассчитываются как функция от объемов выпуска, а затраты на расширение — как функция от *изменения* в объеме в сравнении с максимальным выпуском за прошлый год. Затраты всех трех типов суммируются и вычитаются из средств, поступающих в производственные секторы.

Экспоненциальный рост этих величин заложен в модель в качестве нормального поведения, однако на его замедление могут влиять (а то и совсем останавливать его) различные события: уменьшение спроса из-за демографических подвижек, корректировки со стороны механизма адаптации, увеличение затрат на обслуживание, возросшая стоимость ресурсов и, разумеется, сочетания всех этих факторов.

3. Ресурсы

Подсистема ресурсов в модели SOS опирается на физические единицы измерения в отличие от многих моделей, использующих чисто денежные выражения. Ресурсами могут быть земля, рабочая сила, капитал, руда и другие полезные ископаемые, энергия, чистый воздух, пресная вода... Кроме учета физических единиц модель использует также денежные затраты на ресурсы — эта величина передается в подсистему производства. Различные динамические процессы могут быть привязаны к ресурсам в зависимости от того, возобновимы они или нет, возможна ли переработка отходов, падают ли они в цене. Рабочая сила описывается иначе, поскольку очевидна ее зависимость от населения в целом.

Общая структура подсистемы ресурсов описывает множество разных процессов, включая переработку отходов. Если для какого-то вида ресурсов невозможно использовать переработку, то для него этот участок системы выключается (т. е. доля переработки всегда равна нулю). Возобновимые ресурсы, например вода, полностью восстанавливают свои значения каждый год, и они не могут быть разрушены в результате чрезмерного использования. У невозобновимых ресурсов коэффициент восстановления за год равен нулю.

На рис. 6.4 приведена предельно упрощенная схема для динамического механизма, описывающего отдельный вид ресурса. Подсистема ресурсов берет информацию об использовании каждого их вида из подсистемы производства, рассчитывает величину запасов и передает



Рис. 6.4. Подсистема ресурсов в модели SOS

данные об их доступности механизму адаптации. Тот в свою очередь оценивает возможную нехватку и либо расширяет запасы ресурса, либо увеличивает цену, либо использует заменитель, либо подключает вторичную переработку.

С вычислительной точки зрения такое представление различных ресурсов дает очень хорошие результаты. Однако эффективные вычисления не всегда оказываются легкими для понимания. Если попытаться отследить расчет каждого из ресурсов, можно просто утонуть в обилии расчетных этапов и путанице программного кода. Например, чтобы найти в системе все данные, относящиеся к меди, придется проверить множество участков модели.

1. Начальные запасы.
2. Возможности замены ресурса другими.
3. Степень, в которой рост цены повлияет на расширение запасов.
4. Степень, в которой модификация производства может исключить потребность в каждом ресурсе.
5. Насколько для ресурса может применяться вторичная переработка в тех или иных условиях.
6. Как истощение сказывается на цене.
7. Скорость, с которой могут быть найдены заменители, расширены запасы, созданы методы вторичной переработки.

Все перечисленные факторы важны для модели ресурсов — с этим никто не спорит. Однако точных оценок того, сколько меди может быть получено из вторсырья или в какой степени цена на алюминий

может повлиять на замену меди, просто не существует — это весьма спорные предположения модели. Сверка точных данных, которые определяют все процессы, связанные с медью (в отличие от таких ресурсов, как нефть, земля или вода), потребует поиска соответствующих значений по всей программе, по всем описаниям, причем никаких подсказок и указаний, которые могли бы помочь поиску, в системе нет. И даже если вы обнаружите необходимые данные, часть важных вопросов все равно останется без ответа. Например, в тексте предполагается, что вторичная переработка и расширение запасов ресурса требуют каких-то средств, однако совершенно неизвестно, как они определены и как затем учитываются в структуре модели.

4. Механизм адаптации

Как уже было сказано, в модель **SOS заложен высший уровень контроля**, который может регулировать подсистемы населения, производства и ресурсов через причинно-следственные механизмы. Он принципиально отличается от управления посредством обратных связей в самих подсистемах. Такие связи описывают постепенные, внутренние процессы перехода — рост, обслуживание, истощение... В отличие от них внешний контроль, который авторы называют «адаптацией», или «приспособлением», системы, на самом деле представляет собой дискретное, прерывистое управление на основе выключателей тех или иных зависимостей и пороговых значений. Управление основано на условных командах: если ресурс R истощается и доходит до такого-то уровня, то начинается адаптация системы таким-то способом. Если спрос на продукт M оказывается ниже порогового уровня, заданного для него, то система начинает отводить этому сектору экономики больше средств.

В системе два вида подобных выключателей: удовлетворение спроса и истощение ресурса. Адаптация системы в ответ на истощение ресурса проста и прямолинейна: если его недостаточно и пороговое значение преодолено, то цена на ресурс поднимается, система ищет ему заменители, и одновременно (если есть такая возможность) запасы ресурса расширяются. Стандарты качества для окружающей среды тоже включены в такой механизм: чистая вода и воздух моделируются как ресурсы, которые могут «истощаться» загрязнением.

Реакция системы на неудовлетворенный спрос основана на кибернетической теории социальной адаптации. Если выпуск продукции на душу населения падает ниже уровня, предписанного стандартом, то система пытается принять меры, чтобы исправить это положение. Если они дают результат, то механизм адаптации выключается, пока проблема не появится снова или пока не возникнет другая, которая запустит уже другой процесс приспособления. Принимаемые меры носят разовый, временный характер — например, перенос затрат на счета

будущего периода при обслуживании, изменение экспортного баланса, чтобы устранить дефицит, и т. д. Если разовые меры ни к чему не приводят, то запускаются долгосрочные механизмы.

1. Совокупность ресурсов, необходимых для создания единицы продукции, выбирается таким образом, чтобы снизить расходы.
2. Распределение средств смещается от секторов, находящихся в хорошем состоянии, к секторам, испытывающим нехватку фондов.
3. Если уровень безработицы высок, увеличивается эмиграция (или уменьшается иммиграция).
4. Если все перечисленное не дает результата, снижаются стандарты на удовлетворение спроса. Подгонка спроса может происходить как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения: если производство превышает спрос, то стандарты постепенно поднимаются.

Процесс приспособления системы показан в очень оптимистичном ключе. Расходы на производство можно снизить, и это никак не отражается на удовлетворенности потребителей. Расходы на обслуживание можно перенести на следующий год, и это не сказывается на производительности. Адаптация включается в тот же момент, когда это понадобилось системе, хотя на достижение цели может потребоваться некоторое время. Ранее использованные ресурсы допускают вторичную переработку. Уменьшение спроса происходит без социальных потрясений; никак не учитывается распределение такого уменьшения по слоям населения.

Структура для сравнения для модели SOS-2 показана на рис. 6.5. В том или ином виде модель покрывает все участки структуры, при этом есть довольно интересные особенности. Правительство показано не как институт, финансируемый из бюджета, а как отдельный сектор, производящий продукцию, получающий ресурсы на конкурентной основе и пытающийся удовлетворить спрос на услуги общественного и коммунального характера. Сильнее всего механизм адаптации проявляет себя в элементе «Распределение продукции», поскольку именно здесь решается, как и куда будут направляться фонды, будут ли повышаться/понижаться стандарты спроса и применяться новые технологии (которые, судя по всему, обходятся по нулевой цене).

Общая структура модели **SOS определяет ее склонность к росту и потреблению**. Положительные обратные связи стимулируют рост численности населения и производства. Однако, как только тот или иной рост достигает предела по использованию ресурсов, система адаптируется к ситуации — сначала увеличивается эффективность использования ресурсов и выбираются более доступные их виды, затем начинает-

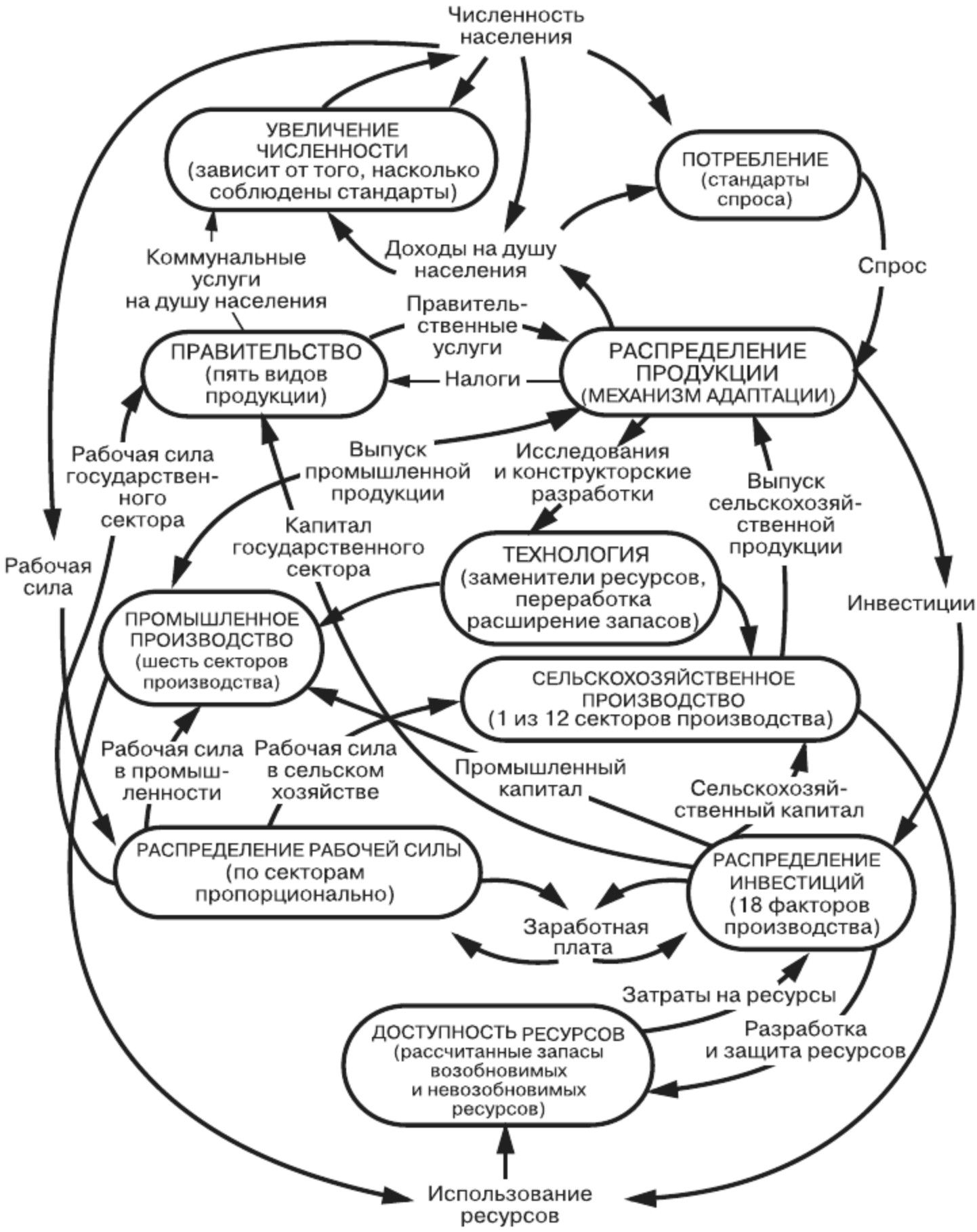


Рис. 6.5. Структура для сравнения, построенная для модели SOS

ся снижение потребления и замедление роста численности населения. По сути, механизм адаптации представляет собой некое всесильное, всевидящее правительство, принимающее решения централизованно, а не ряд отдельных решений, которые могли бы противоречить друг другу и в итоге приводить к субоптимизации. Модель предполагает, что информация поступает мгновенно и без искажений в нужную точ-

ку системы. Каждая часть подсистемы в любой момент точно знает, что и как происходит во всей системе в целом. В системе может быть настроено пороговое значение, например истощение какого-либо ресурса на 50%. Как только оно достигается, включаются методы ресурсосбережения. Однако никто не задавался вопросом о том, как можно узнать, что ресурс истощен на 50%. Фактически, модель показывает нам, как будет вести себя идеально управляемое общество, если оно вообще может существовать. В реальных социальных системах все может происходить совсем иначе. Максимум, на что способна модель SOS, — показать, каким может быть будущее страны или отдельного региона при самом оптимистичном развитии событий.

6.6. Данные

Общая структура модели **SOS одинаково пригодна для обработки данных** на уровне целых стран, регионов или небольших областей. Данные вводятся в модель, исходя из целей пользователя.

В примере **SOS-2, для которого была составлена документация, использовались** данные для США. Про источник информации авторы заявляют лишь следующее: «Данные и предположения были взяты из открытых источников, таких как статистические сводки, данные Министерства торговли США, ежемесячный журнал Бюро экономического анализа, различные отчеты Конгресса и др.»[9]. Производственная функция и данные по заменителям ресурсов заимствованы из модели SEAS Агентства по защите окружающей среды США.

Отсутствие точных ссылок на источники конкретных данных особенно досадно, потому что авторы иногда используют аргументы, по-видимому, основанные на каких-то фактических показателях, например, при заявлении о том, что выбранные диапазоны значений и зависимости оказываются правдоподобными[10]. Но проверить такие утверждения без анализа исходных данных невозможно.

6.7. Тестирование

В документации на модель SOS нет каких-либо свидетельств о том, что ее подвергали тому или иному тестированию или проверке, помимо обычных прогонов. Попытки просчитать с ее помощью исторические периоды и сопоставить результаты с данными за прошлые годы тоже не предпринимались. Не проводился анализ чувствительности к изменениям параметров или структуры, поэтому, строго говоря, нет оснований считать, что модель ведет себя так же, как реальный мир.

В системе SOS используется более 2000 констант. Многие из них представляют собой лишь предположения — например, степень заменяемости одного ресурса другими. Вероятно, на самом деле модель очень чувствительна к изменениям таких параметров. Скорее всего, условия, при которых сказывается нехватка энергии, сильно зависят от того, в какой степени уголь можно заменить нефтью, и от того, в какой момент истощение нефтяных месторождений приведет к перенаправлению инвестиций на солнечную энергетику.

В подобных случаях следует проводить методичную проверку на чувствительность по параметрам, однако в документации об этом ничего не говорится. Поскольку для данных не указаны источники и ничего не сказано о методах, примененных для оценки параметров, нет никакой возможности отличить хорошо обоснованные значения переменных от простых догадок.

Единственная проверка, упомянутая в документации, показывает лишь, что предположения разработчиков определяют выводы, сделанные по модели. В этом тестировании в основную структуру SOS закладываются 6 наборов данных, чтобы отобразить шесть теорий поведения социальных систем. Для каждого набора берется 40-летний период расчетов. Эти данные не описывают какой-либо конкретный регион или какой-то реальный период, а просто демонстрируют динамические возможности системы.

Первый набор показывает результат экспоненциального роста в системе с конечной величиной запасов, без каких-либо механизмов адаптации системы. Сектор производства вскоре достигает предела по ресурсам и терпит крах. Остальные прогоны модели основываются на этой модели экспоненциального роста и показывают, *что* с ней можно сделать, чтобы не допустить неблагоприятного развития событий.

Второй прогон описывает «технические средства» решения проблемы. Система реагирует на истощение ресурсов, используя заменители и наиболее доступные виды сырья для производства. Модель показывает «умеренный рост с некоторыми всплесками» на протяжении 40-летнего периода, однако при дальнейшем росте авторы предсказывают истощение ресурсной базы[11].

Третий расчет показывает, что будет происходить при нулевом росте численности населения, при этом результат не очень отличается от первого прогона.

Четвертый случай сочетает технологические меры и нулевой рост численности населения. Результатом становится замедленный рост экономики, поскольку рабочей силы недостаточно, происходит меньшее количество всплесков, поскольку от механизма адаптации требуется меньше вмешательств, однако к концу расчетного периода система все равно сталкивается с нехваткой ресурсов.

В пятом сценарии к технологическим мерам добавляется «культурная адаптация» — перенаправление средств между секторами и снижение стандартов спроса в том случае, если система не может им соответствовать. Такое нетребовательное общество вознаграждается полным удовлетворением запросов, но показывает довольно большие всплески и последующие спады в отдельных секторах.

Шестой прогон показывает общество «упадка нравов». В нем на «культурную адаптацию» требуется более продолжительное время, чем в предыдущем сценарии. Это пассивное, застойное общество. Нежелание адаптироваться к ситуации приводит к тому, что «сначала ожидания должны исполниться в ближайшие три года, но достичь этого не получается. Потом результата ждут шесть лет, но он немного не такой, как предполагалось. Наконец, за последние два года производство приходит в полный упадок»[12].

6.8. Выводы

Заключения по модели SOS нашли довольно полное отражение в книге Хауса и Уильямса[13]. За «основной сценарий» принимается прогон модели, в котором скорости роста по секторам примерно соответствуют скоростям, наблюдавшимся в США в период 1950—1970 гг. В этих условиях к началу XXI века система демонстрирует острый кризис, связанный с нехваткой ресурсов, причем проблема нарастает быстрее, чем с этим в состоянии справиться многочисленные адаптивные механизмы в модели.

В расчетном 2010 г. в системе в первый раз возникнет необходимость в управлении высшего уровня, поскольку все секторы, производящие потребительские товары, и транспортная отрасль не будут справляться с возросшими запросами. Однако неудовлетворенность спроса будет не очень велика, поэтому стандарты спроса снижать не потребуется. К 2012 г. ситуация ухудшится, поскольку резко возрастут цены на сырье — в первую очередь на цинк/свинец и нефтепродукты. К этому моменту включается механизм коррекции и перенаправления фондов. В 2013 г. цена на цинк и свинец удваивается, медь дорожает на 20%, и ожидания приходится принудительно снижать — так впервые происходит в этом сценарии.

Высокая степень истощения ресурсов (цинка и свинца, меди, нефти — все они израсходованы более чем на 90%) приводит к тому, что механизмы коррекции не успевают сохранить запасы, достаточные для плавного перехода. К 2016 г. отрасли, связанные с цинком, свинцом и медью, терпят крах; 7 из 12 секторов производства лишаются необходимых ресурсов. По этим причинам результаты моделирования признаны неправдоподобными[14].

Проблемы ресурсов не может решить даже добавление к системе способности к прогнозированию. Такое планирование использует для спроса линейную экстраполяцию на 20 лет вперед, чтобы перенаправлять фонды заранее — до того, как секторы начнут испытывать их нехватку. Также ограничивается рост стандартов спроса в этих отраслях. Но в результате система ведет себя еще хуже, поскольку непрерывный экономический рост за первые два десятилетия еще сильнее истощает ресурсы.

Разработчики попробовали просчитать сценарий ресурсосбережения, в котором шире используется вторичная переработка, а использование ресурса начинает уменьшаться после того, как он исчерпан на 50% . Спрос на потребительские товары также постепенно снижается. Эта стратегия позволяет полностью избежать проблем с нехваткой ресурсов, однако возникает неудовлетворенная потребность в рабочей силе, что замедляет рост в секторах обслуживания, нуждающихся в работниках[15].

Лучших результатов удается добиться при сочетании ресурсосберегающего сценария с возможностью прогнозирования потребностей. До 50-го расчетного года не наступает никакого кризиса.

Другими словами, моделируемая социально-экономическая система США, предоставленная самой себе, даже при наличии всех механизмов адаптации не может существовать устойчиво. Все попытки приспособиться занимают слишком много времени и просто не успевают ничего исправить. Чтобы система избегала подобных кризисов в течение ближайших 50 лет, ей необходимы продуманное государственное планирование, прогнозирование и наличие механизмов управления и адаптации в частных секторах экономики. Также необходимо, чтобы запросы потребителей на материалоемкую продукцию были снижены.

По модели SOS сложно дать какой-то один обобщающий вывод. Одно из важных заключений состоит в том, что, хотя экономика США обладает способностями к адаптации, их недостаточно. Улучшить положение можно за счет централизованного контроля и управления, заблаговременных корректирующих мер и использования математических моделей для прогнозирования. Кроме моделей SEAS и SOS существует еще множество других, качественных и количественных. Их необходимо использовать для принятия решений до того, как та или иная проблема приведет к кризису[16].

В структуру и параметры модели **SOS заложена изначальная склонность** к оптимистичным результатам. Используются все возможные варианты адаптивных механизмов. Запаздывания минимизированы, затраты на адаптацию нулевые, политических проблем и сложностей в распределении нет... Система централизованного управления работает как часы. Социальных потрясений после снижения ожиданий

из-за нехватки ресурсов нет — они даже не обсуждаются. Подобные тенденции в модели очевидны. В какой-то степени их признают даже ее создатели — достаточно вспомнить, для какой цели предназначена модель.

Однако она старается учитывать и реалии жизни. Пределы по ресурсам в нее включены; в систему вписаны механизмы адаптации и на них косвенно затрачиваются средства; замкнутая структура модели приводит к тому, что проблему невозможно «выдавить» из нее просто так, за счет какого-то волшебного внешнего средства. В результате выводы не вполне соответствуют предварительным заявлениям авторов. Система может приводить к проблемам быстрее, чем их можно разрешить, несмотря на всю ее склонность к оптимистичному развитию событий. Если же исходные предположения пессимистичны (как в сценарии с «упадком нравов»), то результаты модели предупреждают об очень серьезных проблемах, одновременно предлагая общие направления для того, чтобы не допустить их возникновения.

6.9. Реализация

Модель SOS едва ли предполагает непосредственное использование для практических целей. Ее разрабатывали два специалиста в свободное от основной работы время, проверяя собственные идеи, а не выполняя моделирование в ответ на какую-то потребность. Даже если бы разработку заказал какой-то конкретный клиент, внедрение ее результатов было бы маловероятным — по крайней мере, сегодняшний вид программы не проверяет какие бы то ни было конкретные стратегии и не дает выводов для принятия управленческих решений. Модель позволяет добиться понимания на самом общем уровне, и единственный четко проявляющийся результат состоит в том, что неизвестно, решатся ли проблемы с ресурсами сами собой и пройдет ли это мягко и без отрицательных последствий. Главное, что хотели показать Хаус и Уильямс, — что Агентству по защите окружающей среды и другим институтам в США следует использовать компьютерные модели для долгосрочного планирования. Они это успешно показали, и находившиеся у власти демократы восприняли эту идею. Правда, Агентство EPA выбрало для прогнозирования другую модель, но это не так уж и важно.

Хаус и Уильямс делали модель для себя, а потом в какой-то момент сами потеряли к ней интерес. Хаус ушел из Агентства, написал несколько книг, в которых модель **SOS упоминалась в ряду многих других**. Однажды он применил ее как инструмент преподавания, когда вел курс в университете; потом перешел к разработке более сложных и серьезных моделей. Затем он оказался в правительственной группе

по оценке технологических воздействий в Министерстве энергетики США, где играл скорее роль не разработчика, а заказчика, жалующегося на слишком долгие сроки исполнения, несоответствующие базы данных и отсутствие неизмеряемых качественных факторов в моделях, которые ему предоставили.

Уильямс в последующие годы разослал больше десятка копий программы SOS в ответ на запросы со стороны пользователей, включая Баттельский институт, однако ему неизвестно, использовал ли кто-либо модель в работе и получил ли какие-то результаты.

Уильямс присоединился к Хаусу в группе при Министерстве энергетики и работал над созданием экспертной компьютеризованной информационной системы, предназначенной для создания программ в сфере энергетики. Вместе они дали модели **SOS вторую жизнь, использовав ее** для долгосрочных прогнозов в секторе энергетики в качестве инструмента, дополняющего «модели бухгалтерии, не имеющие обратных связей»[17].

6.10. Требования к компьютеру

Распечатка программы модели SOS на языке Фортран занимает 1800 строк, и вычисления требуют не очень продолжительного времени. Подборка результатов от одного прогона представляет собой распечатку толщиной в несколько сантиметров[18].

6.11. Документирование

Программа на Фортране для модели SOS приведена полностью. В ней присутствуют все уравнения, задокументированы они достаточно хорошо. По всей программе используются комментарии, относящиеся к соответствующим строкам программного кода. Если кто-то захочет проверить производительность модели **SOS или сравнить ее фрагменты** с описанием, данным в документации, это вполне можно сделать — материалы содержат необходимую информацию.

В отличие от четкой и хорошо оформленной программы текстовое описание выполнено неполно, написано не всегда понятным языком, структурировано плохо. Используемые слова и выражения тщательно не подбирались, текст составлялся небрежно, многие фразы практически бессмысленны. Документация с результатами прогонов откровенно сырая — как по содержанию, так и по общей логике. Математические изменения, определяющие варианты поведения системы, сформулированы очень туманно, с использованием прикидочных оценок. В материалах по первым расчетам пользователя информиру-

ют, что модель «немного отличается» от описанной в тексте, но нигде не указано, в чем состоят различия и насколько они существенны[19].

Недостатки документирования сказываются во всем. Переход от модели SOS к системе SOS-2 в описании происходит внезапно, и в тексте не указано даже, что именно авторы собирались учесть в модели, а что получилось на самом деле. Документация изобилует синтаксическими ошибками, несогласованными предложениями и терминами, которые нигде не расшифровываются, — в этом отношении об удобстве читателя никто не заботился. Имена переменных и определения приводятся в разных местах, они разбросаны по сотне страниц текста, относящегося к описанию уравнений. Найти фрагмент, где описывается та или иная переменная, очень трудно, это очень осложняет задачу тому, кто решит разобраться в уравнениях модели. Чтобы отследить всю логику выкладок, надо обладать ангельским терпением.

В целом документация на модель не очень близка к реальности в том смысле, что все функции обсуждаются исключительно в понятиях самой модели: взаимодействие секторов, компонентов, ресурсов, результаты принимаемых мер. Аналогии и ссылки на то, что происходит в реальном мире, в тексте отсутствуют.

Расплывчатость документации вызывает особое сожаление потому, что модель создавалась ради общего понимания. Система SOS-2 — весьма интересный инструмент, позволяющий изучить различные предположения о том, как экономика подходит к пределам устойчивости, однако документация скорее запутывает, чем проясняет суть вопроса. Между тем, в модели разработчики применили нестандартные и в каком-то смысле уникальные приемы. Очень жаль, что в описании это не отражено в текстовой форме. Оценить красоту использованных решений смогут только специалисты по Фортрану.

Ссылки на источники

1 *Williams E.R.*, *House P.W.* The State of the System (SOS) Model. Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency Washington D.C., EPA-600/5-73-013, февраль 1974 г.

2 *Williams E.R.*, информация получена в частной беседе.

3 *House P.*, *Williams E.R.* The Carrying Capacity of a Nation. Lexington, Mass.: Lexington Books, 1976.

4 Ранее упомянутый источник: *House P.*, *Williams E.R.*, с. xiii.

5 Там же, с. xiii.

6 Там же, с. 3—5.

7 Классические модели в экологии. См., например, описание в книге: *Odum E.P.* Fundamentals of Ecology. 3rd edition. Philadelphia: W.B. Saunders Co., 1971. С. 215 (этот учебник издавался и переиздавался на русском

языке. См., например, издание: *Одум Ю.* Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.) или любой учебник по экологии популяций.

[8] В том же учебнике Ю. Одума приводится также описание метода моделирования К.С. Холлинга (*Odum E.P.*, с. 291).

[9] Ранее упомянутый источник: *House P.*, *Williams E.R.*, с. 29.

[10] Там же, с. 104—105.

[11] Там же, с. 10—11.

[12] Там же, с. 18.

[13] *House P.*, *Williams E.R.* Planning and Conservation: The Emergence of the Frugal Society. Praeger Special Studies. New York: Praeger Publishers, Inc., 1977.

[14] Ранее упомянутый источник: *House P.*, *Williams E.R.*, с. 50.

[15] Там же, с. 59 и 62.

[16] Там же, с. 68.

[17] *House P.*, *Williams E.R.*, информация получена в частной беседе.

[18] Данные выдачи модели SOS в вычислительном центре OSI Bethesda Data Center.

[19] Ранее упомянутый источник: *House P.*, *Williams E.R.*, 1976, с. 7.

7
ГЛАВА

TEMPO: обучаем страны третьего мира

7.1. Организационные вопросы

TEMPO, Центр продвинутых исследований *General Electric*, был организован в 1956 г. в Санта-Барбаре, шт. Калифорния. Штаб-квартира группы по изучению населения находится в Вашингтоне, округ Колумбия — ее собрал Стефен Энке в 1967 г. Сотрудники группы занимались разработкой экономико-демографических компьютерных моделей, применяли их в развивающихся странах, создавали обучающие материалы и проводили новые исследования на стыке экономики и демографии... В работе до настоящего времени... участвовали сотрудники из более чем 30 стран, с пяти континентов. Большая часть работ проводилась под эгидой Агентства США по международному развитию. В группе сейчас работает 10 ведущих специалистов, 15 консультантов и 3 вспомогательных сотрудника[1].

TEMPO представляет собой «мозговой центр», финансируемый промышленностью. В конце 1960-х годов Агентство США по международному развитию (USAID) обратилось в группу TEMPO по изучению населения, чтобы проанализировать экономические последствия от роста численности. Группа создала экономико-демографическую модель TEMPO I (ее доработанная версия называется TEMPO II), предназначенную для изучения экономической и демографической ситуации в развивающихся странах. Специалисты TEMPO посещали разные страны и проводили семинары по экономико-демографическому планированию, используя модель, чтобы продемонстрировать лицам, принимающим решения, влияние численности населения на развитие страны. Персонал намеренно подбирался из франко- и испаноговорящих специалистов по экономике, программированию и сопутствующим областям знаний.

После 8 лет совместной работы над моделями по экономике и демографии сотрудники **USAID и TEMPO пришли к выводу о том, что самым** правильным будет адаптировать модель TEMPO к ситуации в каждой отдельной стране и что заниматься этим всегда должен местный специалист[2]. Организация **TEMPO стала консультировать и поддерживать** местных аналитиков, дорабатывающих модель. К 1974 г. ее версии уже применяли в Гватемале, на Ямайке, в Турции, Чили, Бразилии, Индии, Нигерии, Мексике, на Тайване, в Танзании, Непале, Боливии, Венесуэле, Перу, Индонезии и Колумбии.

7.2. Цели

Изначально Агентство **USAID формулировало цель так: «Подготовить** материалы и обеспечить техническую поддержку для анализа взаимосвязей между ростом численности населения и экономическим развитием»[3]. В **USAID считали, что демографические показатели важны**, но слишком часто не учитываются в процессе развития, поэтому нужно доходчиво продемонстрировать управленцам в странах третьего мира, что быстрый рост численности населения может разрушительно влиять на экономические перспективы. Если модель даст достаточно точные данные для каждой страны, это будет убедительным аргументом, и лица, принимающие решения, станут использовать численные методы в планировании.

Модель-прототип, на которой основывались последующие разработки TEMPO, создали в 1950-х годах Энсли Коул и Эдгар Гувер. Она была предназначена для изучения связей между численностью населения и экономикой в Индии[4]. Ее многократно дорабатывали, прежде чем она превратилась в модели TEMPO I и TEMPO II, но лежащие в ее основе предположения и поведение с принципиальной точки зрения не изменились. Структура модели довольно проста, а поведение логично следует из нее.

Модель TEMPO применяли, чтобы получить прогнозы для разных стран, и цели в основном были образовательные. Прогнозы оказывались довольно схожими. Разработчики постепенно расширили модель TEMPO I, чтобы включить в нее больше ключевых точек, воздействие на которые позволяет влиять на численность населения, и получить в результате полезный инструмент для прогнозирования. Цель **TEMPO II — изучить долговременные последствия (период 30 лет)** различных скоростей роста численности населения и действенность мер регулирования, предпринимаемых властями, в дополнение к другим средствам планирования[5]. При этом структура TEMPO II осталась простой, а ее основное применение по-прежнему носит образовательный характер.

7.3. Методы

Модель **TEMPO использует математическое имитационное моделирование** для оценки динамических изменений в численности населения и величине капитала в развивающихся странах. Алгебраические выражения позволяют рассчитывать состояние системы в момент $(t + 1)$ через ее состояние в момент t. В модели есть некоторые нелинейные зависимости (например, логарифмическая производственная функция Кобба-Дугласа), однако большинство функций линейны (например, суммарное потребление — линейная функция от ВНП и численности населения). Хотя некоторые параметры определены по данным для каждой страны, тем не менее методы статистики упоминаются в документации очень редко.

В структуре модели есть динамическая обратная связь, но в документации не описываются особенности отдельных обратных связей и их влияние на поведение системы. Оптимизация и межотраслевой баланс не применяются, равно как и другие специальные методы. Основные положения более простой модели, TEMPO I, описываются всего 11 уравнениями. TEMPO II использует 34 уравнения.

По сути **TEMPO представляет собой неспециализированную, несложную** компьютерную имитационную модель, хорошо подходящую для объяснения основных зависимостей между численностью населения и экономическим развитием.

7.4. Границы

И модель TEMPO I, и TEMPO II представляют население как поток, разделенный на возрастные группы с интервалом в 5 лет. Им управляют внешние переменные рождаемости и выживаемости, зависящие от возраста. Капитал в модели рассчитывается через внутренние переменные, равно как и занятая рабочая сила, валовое производство, потребление, денежные сбережения и инвестирование средств. Коэффициенты, описывающие распределение рабочей силы, — внешние, как и скорость технологических усовершенствований.

В более проработанной модели **TEMPO II используются более широкие** границы, чем в **TEMPO I. Некоторые внешние переменные становятся** внутренними за счет добавления к системе ряда элементов:

1) заданного в явном виде сектора государственного управления;
2) обратных связей от образования к производительности труда и от программ планирования семьи к коэффициенту рождаемости;

3) деления экономики на подсистемы, носящие обслуживающий характер (сюда в первую очередь относится сельское хозяйство), и отрасли, двигающие экономику вперед (промышленность, городские предприятия).

В систему добавились переменные, описывающие миграцию из сельской местности в города; налоговые показатели; понятие государственного дефицита; коэффициенты инфляции (все это внутренние переменные), а также внешние переменные, задающие ставки налогообложения, распределение государственных расходов, цели образования и программ планирования семьи (см. рис. 7.1).

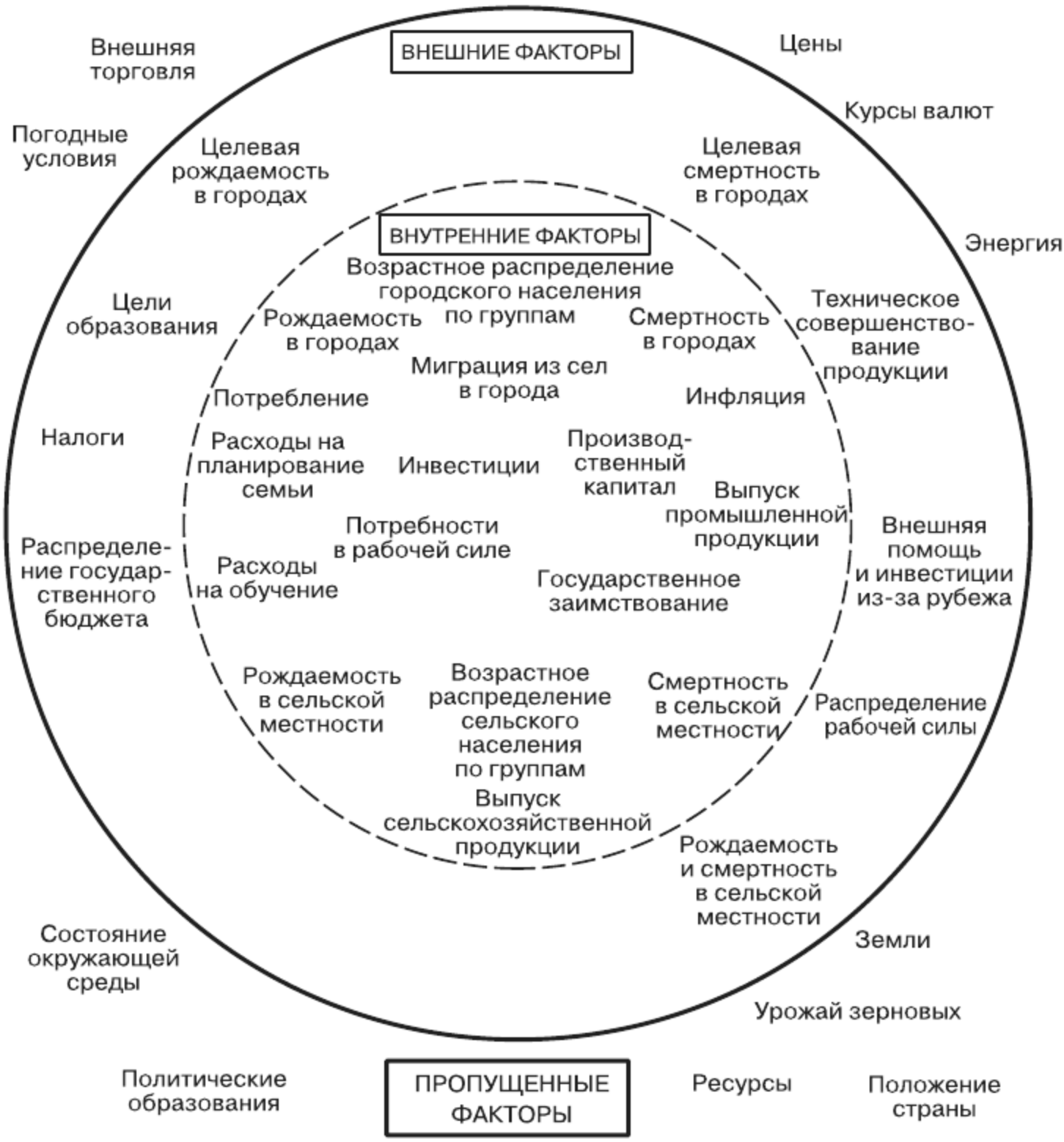


Рис. 7.1. Границы модели ТЕМРО II

Когда модель **TEMPO II адаптировалась под разные страны, специ**алисты часто добавляли новые структуры и переменные, чтобы описать явления, характерные для каждого конкретного случая. Например, чилийская версия TEMPO I включает в себя более проработанный по сравнению с базовой моделью сектор здравоохранения и образования[6]. Адаптация TEMPO II для Венесуэлы в явном виде использует внешние инвестиции в нефтедобывающую отрасль[7].

7.5. Структура

Модель **TEMPO I проще, чем вторая версия, поэтому начать описа**ние структуры стоит с нее. Модель включает в себя демографический и экономический секторы. В первом из них ведется расчет будущей численности населения путем добавления родившихся и вычитания умерших из текущей численности. В расчете используется деление по возрастам и полу[8]. Внешними переменными задаются фертильность и смертность в зависимости от возрастной группы. Обычно между собой сравнивают два сценария: с сохранением текущего коэффициента фертильности и с его резким уменьшением. Обратные связи в этой части системы соотносят количество рождений с количеством женщин в репродуктивном возрасте, а также количество смертей в возрастной группе с ее размером. Экономический сектор не оказывает никакого влияния ни на фертильность, ни на смертность.

> Экономическая модель основана на прямом использовании производственной функции Кобба-Дугласа... Выпуск продукции рассчитывается на основе составных частей экономического процесса — рабочей силы, физического капитала и технологических изменений[9].

Из трех перечисленных составных частей технологическое изменение представляет собой внешнюю переменную, капитал определяется внутренней обратной связью, учитывающей инвестиции из экономического сектора, а данные о рабочей силе поступают из демографической подсистемы. В производстве участвуют только занятые работники; уровень занятости — функция от капитала, и если безработица уменьшается, то капитал замещается рабочей силой.

Поведение экономического сектора определяется двумя положительными петлями обратных связей (см. рис. 7.2). В первом цикле больший выпуск продукции увеличивает инвестиции, они ведут к росту капитала, который в свою очередь обеспечивает дальнейший рост выпуска продукции. Во втором больший капитал увеличивает потребность в рабочей силе, занятость растет, больше работников производят больше продукции, что вызывает рост инвестиций и далее увеличивает капитал и его потребность в рабочей силе.

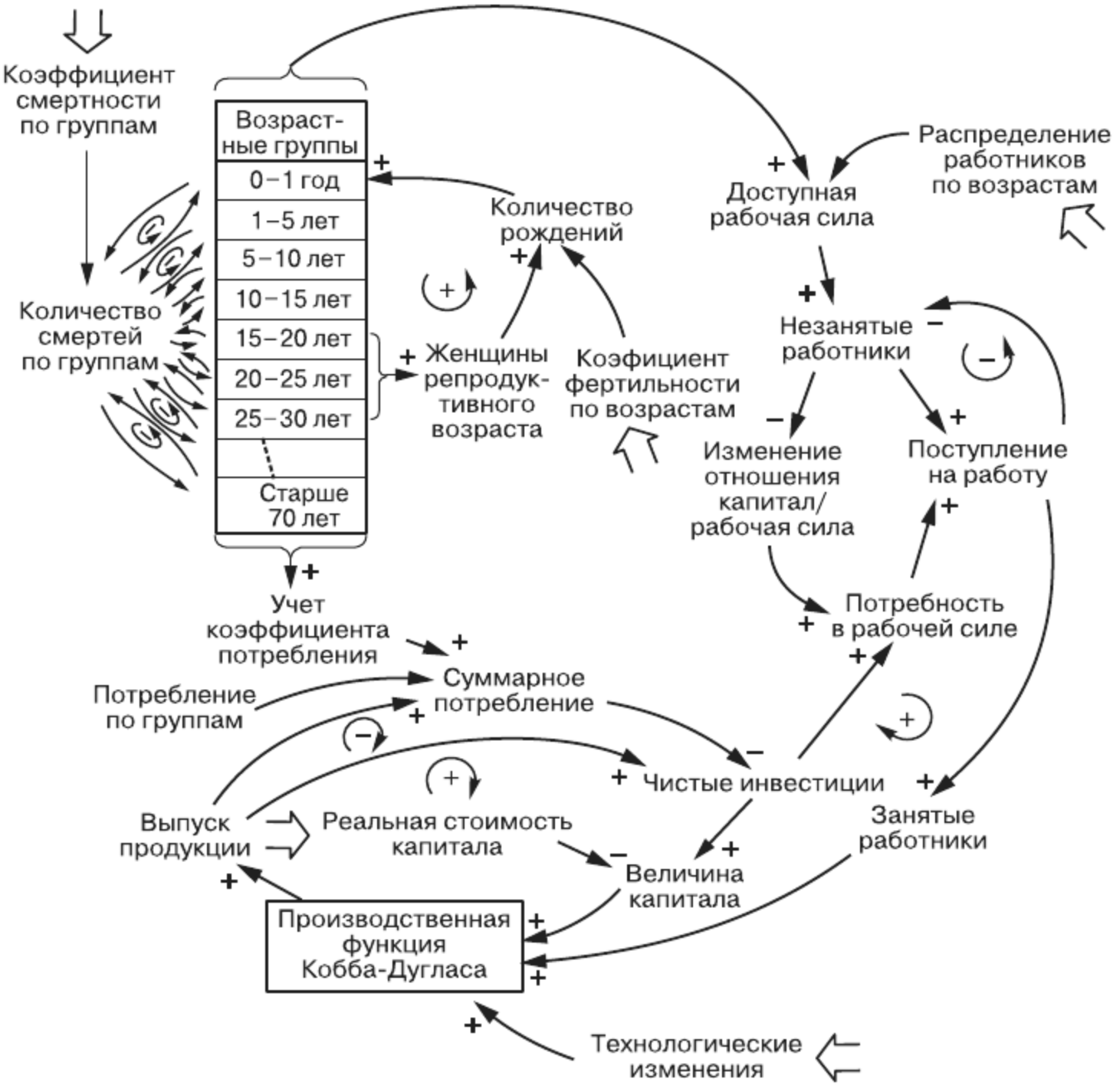


Рис. 7.2. Причинно-следственная диаграмма модели ТЕМРО I

Раскручиванию экономического роста в модели ТЕМРО I могут препятствовать два фактора: нехватка рабочей силы (что уменьшает производство) и высокое потребление (что уменьшает инвестиции). И рабочая сила, и потребление неразрывно связаны с численностью населения, однако их влияние на систему имеет разные временны́е диапазоны. Рабочая сила увеличивается с ростом численности населения, но с запаздыванием в 15 или более лет (время между рождением и достижением работоспособного возраста). Потребление же увеличивается в тот же момент, когда численность населения становится больше, хотя в модели и учтено, что молодежь и поколения старшего возраста потребляют меньше, чем люди средних лет (для них используется отдельный коэффициент). В любом случае увеличение численности сразу же замедляет экономический рост, поскольку часть продукции

отвлекается от реинвестирования и направляется на потребление. Через 15 лет выросшее поколение работников может усилить экономический рост, однако при этом возрастает и потребление, поскольку из молодой возрастной группы эти люди переходят в среднюю группу, для которой характерно наибольшее потребление.

Модель TEMPO I позволяет проверить, влияет ли замедление роста численности населения на экономическое развитие, однако она не отвечает на вопросы о том, какие государственные программы могут влиять на рост численности населения и как они будут финансироваться. Чтобы выяснить это, была выпущена доработанная версия модели, TEMPO II, в которую вошли финансовый сектор и подсистема государственного управления, обратная связь от правительственных программ планирования семьи к рождаемости, образовательный сектор и дополнительное деление населения на городское и сельское. Модель TEMPO II позволяет проверить, к чему приведет перенаправление части средств от образовательного сектора на программы планирования семьи, из каких источников можно финансировать различные секторы (и чем для этого придется пожертвовать), как повлияют на происходящее внешние заимствования, налоги и инфляция.

Сектор населения в модели TEMPO II ведет себя в целом так же, как и в TEMPO I, за двумя исключениями.

1. На рождаемость в сельских районах программы планирования семьи не влияют.
2. Сельское население мигрирует в города.

Миграция происходит пропорционально разности в душевом производстве продукции в городе и сельской местности. Выпуск продукции в городском секторе увеличивается быстрее, чем в сельском хозяйстве (этому способствуют большее влияние технологий и не уменьшающаяся отдача от вложения средств), поэтому население сельских районов стремится перебраться в города (см. рис. 7.3). Миграция частично замедляет рост душевых доходов в городском секторе и немного увеличивает его в сельских районах, уменьшает соотношение капитал/рабочая сила, что поднимает уровень безработицы. Тем не менее безработица не оказывает прямого влияния на процессы миграции. Для тех, кто переселился в городские районы, немедленно начинают действовать городские коэффициенты фертильности, более низкие, чем на селе, благодаря программам планирования семьи.

Потребление в модели TEMPO II представляет собой сумму трех составляющих: предполагаемого частного потребления, частных инвестиций и государственных расходов. Если эта сумма превышает сум-

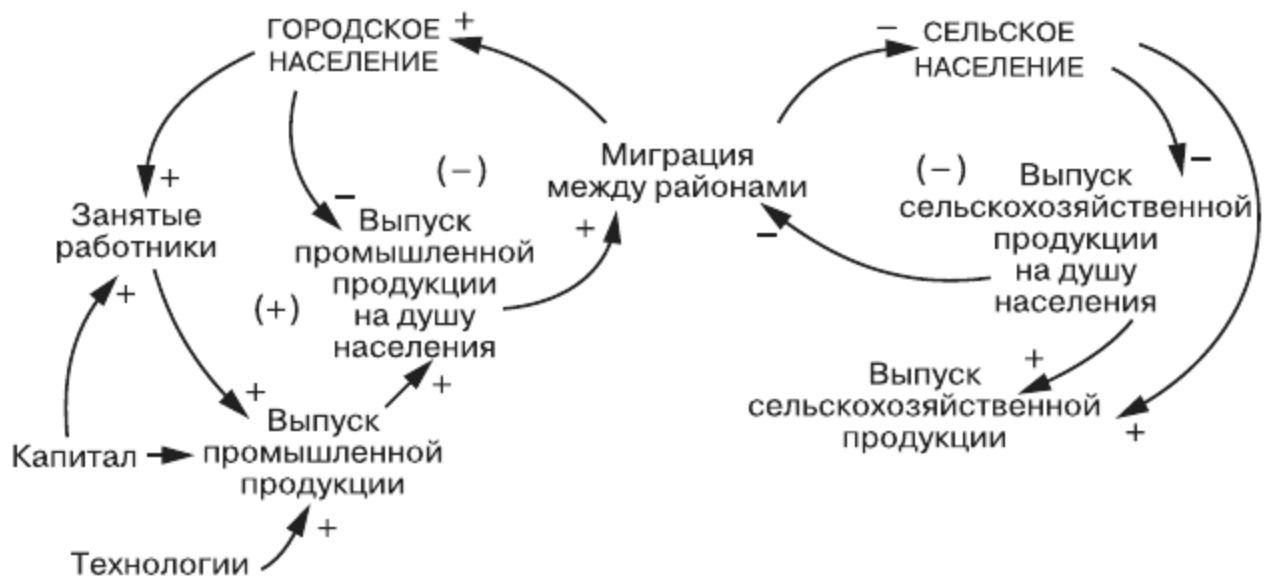


Рис. 7.3. Миграция в модели ТЕМРО II

марный выпуск продукции, то индекс цен начинает расти, отображая инфляцию. При этом:

1) предполагаемое потребление в частном секторе — линейная функция от численности населения и доступных доходов;
2) предполагаемые частные инвестиции равны доступным доходам за вычетом желаемого потребления и государственного заимствования;
3) предполагаемые государственные расходы — функция от нескольких внешних параметров, определяющих политику страны.

Сектор государственного управления в модели получает долю валового продукта в виде налогов (взимаемых с суммарного выпуска промышленной и сельскохозяйственной продукции) и тратит их по восьми направлениям: общие государственные расходы, оборона, программы социального страхования, здравоохранение, капитал социальной сферы, прямые государственные инвестиции, образование, планирование семьи (причем первые 4 пункта не производят дохода, а только потребляют, в то время как другие можно рассматривать как инвестиции, которые приведут к отдаче в той или иной форме). Поскольку четыре вида государственных расходов не увязаны с причинными потоками модели, в системе по умолчанию предполагается, что:

1) правительственные расходы на здравоохранение не снижают уровень смертности;
2) общие государственные расходы и траты на оборону не влияют на другие переменные системы[10] ни через капитал, ни через рабочую силу.

Для всех видов государственных расходов, кроме образования и планирования семьи, количество вкладываемых средств определя-

ется внешним коэффициентом, задающим долю от валового продукта. Для планирования семьи и образования пользователь модели задает цель: либо желаемый коэффициент фертильности, либо процент населения, которое должно иметь начальное, среднее или высшее образование. Принятие программы планирования семьи означает уменьшение фертильности на протяжении всего времени действия программы[11].

Модель допускает, что правительственные расходы превысят суммы, полученные в виде налогов. В этом случае государство может прибегнуть к внутреннему заимствованию, отвлекая средства от реинвестирования и тем самым замедляя экономический рост, либо привлечь зарубежную помощь.

На рис. 7.4 приводится диаграмма для сравнения. Добавление сектора государственного управления создает дополнительное препятствие экономическому росту. Образовательный сектор приводит к росту расходов пропорционально увеличению численности младших возрастных групп, в краткосрочной перспективе увеличивает расходы экономики на население, но в долговременной перспективе уменьшает их за счет более высокой квалификации и производительности труда в будущем. Деление населения на городское и сельское позволяет распространять программы планирования семьи только на первую группу и не учитывать роль второй в производстве промышленной продукции. Эти и другие изменения в системе позволяют пользователю более гибко относиться к разработке стратегии развития. «Решения, принятые на определенный период, могут оказать значительное влияние на характер развития страны и определить доступность товаров и услуг в долговременной перспективе»[12]. Тем не менее в целом фрагменты, добавленные к модели TEMPO II, принципиально не меняют ее поведение в сравнении с предшествующей версией.

7.6. Данные

Модели TEMPO I и TEMPO II невелики по размерам, им требуются лишь самые основные, часто используемые в статистике экономические и демографические показатели. Обычно их нетрудно найти, но даже если доступа к таким данным нет, их значения можно оценить приблизительно. Этот подход работает даже в промышленно неразвитых странах. Опыт разработчиков по адаптации модели к условиям разных стран позволил сделать систему практически невосприимчивой к неточности экономических показателей, и проведенная проверка чувствительности это подтвердила. Таким образом, сбор данных для модели не представляет собой большой проблемы.

Группа TEMPO в Центре исследований *General Electric* не уделяла особого внимания документации на каждый вариант модели и не включала в нее данные, использованные в разных версиях. В чилийской

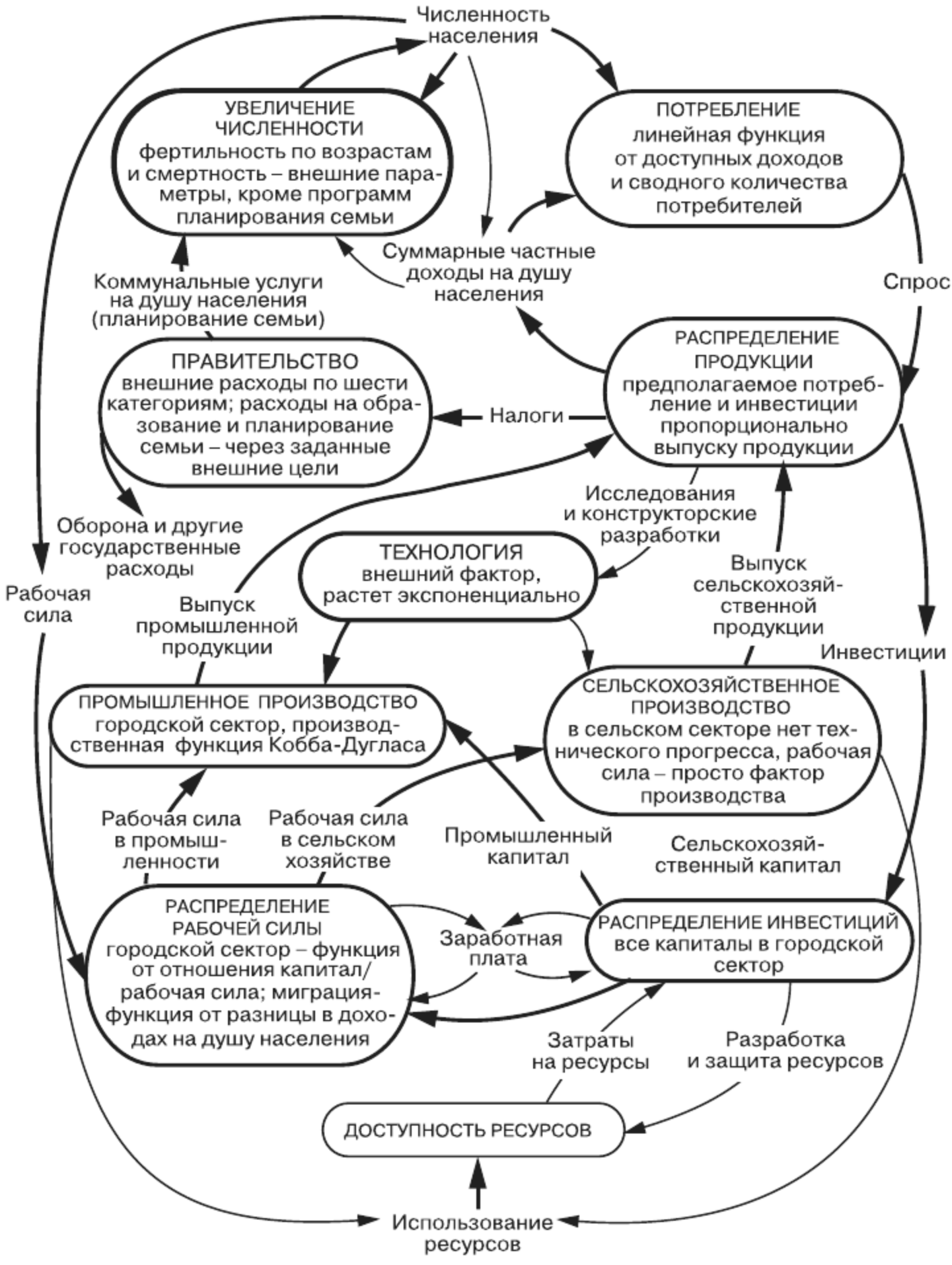


Рис. 7.4. Структура для сравнения, построенная для модели **ТЕМРО II. Элементы, взятые в толстые рамки, и связи, отмеченные жирными стрелками, включены в модель. Остальные элементы и связи в модели отсутствуют и показаны для сопоставления**

системе, например, вообще не приводятся никакие данные, внесенные в модель[13]. Однако в общем описании рассказывается, как можно адаптировать модель и как изменять ее параметры[14], — это прямые и вполне понятные инструкции пользователю.

7.7. Выводы

Результаты TEMPO всегда объясняются через причинно-следственные связи в модели. И для них приводятся понятные аналогии из реально происходящих в мире процессов. Например:

> «Непосредственный результат программ планирования семьи — уменьшение фертильности. Это вызывает замедление роста численности населения и делает будущую численность меньше, чем она могла бы быть. В течение нескольких десятилетий на рынок рабочей силы это практически не влияет, поскольку те, кто вступает в работоспособный возраст, уже родились. Но не столь большая численность населения потребляет меньше, поэтому рост капитала ускоряется. Рост совокупного выпуска продукции может не изменяться сколь-нибудь значительно или может немного увеличиться — в основном рост производства на душу вызывается уменьшением численности населения. Более высокие доходы на душу населения увеличивают собираемые налоги, частные накопления и инвестиции, создают больше возможностей для образования. Увеличенный запас капитала снижает безработицу и увеличивает выпуск на душу населения. Работники получают более высокий уровень образования, производительность труда растет, увеличиваются доходы…
>
> Вместо расходов на планирование семьи правительство может инвестировать больше средств непосредственно в производство. Основным результатом будет рост ВВП. Рост численности населения при этом не замедлится, и душевое значение ВВП будет расти медленнее, чем если бы те же средства были направлены на программы планирования семьи»[15].

Группа **TEMPO выпустила сводный материал по общим заключениям для 19 стран, начиная с Непала (ВНП на душу населения менее 100 долл.) и заканчивая Венесуэлой (ВНП около 1000 долл. на душу населения). Для всех моделей можно привести один общий вывод.**

> Несмотря на большое разнообразие культур, исторического наследия, экономических систем, языков и т. п., экономико-демографические механизмы во всех случаях задействованы одни и те же — это универсальные зависимости. Численность поколения школьников и все, что связано со школьным образованием, сильно зависит от фертильности. Любое уменьшение фертильности приводит к снижению демографического давления на систему школьного образования, позволяя улучшить качество обучения и его доступность.

В отличие от молодых поколений, население работоспособного возраста практически невосприимчиво к изменению фертильности, ведь оно скажется лишь через два или три десятилетия. Не такой быстрый рост численности приводит к более высокому росту ВНП на душу.

Это заключение верно для самых разных социально-экономических ситуаций, характерных для разных стран, и практически не зависит от значения параметров в ключевых уравнениях модели[16].

Это заключение — логическое следствие структуры модели, в которой численность населения оказывает тормозящее действие на экономический рост, а ее единственная положительная роль — количество доступной рабочей силы. Изменение в структуре может существенно изменить выводы. Например, если бы в системе были ограничены другие ресурсы, а не только земля (этот неявный предел заложен в сектор сельского хозяйства), то экономическое ограничение роста численности населения было бы более явным. Вместе с тем, если бы в результате модернизации или повышения качества жизни заодно уменьшалась смертность, то снижению фертильности противопоставлялась бы меньшая убыль населения. Если бы в модели уровень образования приводил к уменьшению рождаемости так же быстро, как это делают программы планирования семьи, то большее значение имело бы именно образование. И если бы в модели было показано, что увеличение ВНП на душу населения ведет к уменьшению фертильности, то государству было бы выгоднее вкладывать средства в рост капитала, а не в производство презервативов.

Небольшие, обобщенные, не углубляющиеся в детали модели вроде **TEMPO, с одной стороны, считаются высшей целью моделирования**. Для образовательных целей простота и ясность очень важны. С другой стороны, есть опасность упростить все сверх меры и утратить соответствие модели реально происходящим процессам. Модель TEMPO критиковали именно за простоту, и в особенности за отсутствие связи между экономической и демографической подсистемами. Критике подвергалось и предположение о том, что программы планирования семьи начинают действовать немедленно и линейно снижают рождаемость. Между тем эффективность таких программ далеко не однозначна, даже если они строго контролируются и проводятся очень решительно[17]. В защиту разработчиков нужно сказать, что планирование семьи было описано ими как отражение представлений Агентства USAID, финансировавшего проект TEMPO I. Подобные представления постепенно менялись в 1970-е годы, однако в версиях модели они остались в исходном виде. Система TEMPO создавалась с образовательными целями, для обучения тех, кто будет планировать развитие, но за десять лет ее использования ученики превзошли учителя.

7.8. Тестирование

Модель TEMPO тестировалась, пожалуй, тщательнее и вдумчивее всех остальных систем, вошедших в наш обзор. В какой-то степени это стало возможным потому, что ее размер невелик, а структура достаточно проста, чтобы каждый сомнительный параметр можно было выявить и попробовать для него разные значения. Вдобавок разработчики использовали четкий и недвусмысленный критерий чувствительности: параметр считается чувствительным, если его изменение может вызвать обратное заключение о поведении модели. Например, если бы поведение системы в условиях быстрого роста численности населения стало лучше, чем при медленном росте...

Заключения, относящиеся к фертильности, в модели TEMPO II в общем и целом невосприимчивы к изменениям параметров. Это подтверждено тестами, в ходе которых изменялись численные значения ожидаемой продолжительности жизни, скорость технологического прогресса, коэффициенты функции Кобба-Дугласа, относящиеся к рабочей силе и капиталу и влияющие на значение ВНП, увеличение потребления относительно роста ВНП, начальное отношение капитала к ВНП, исходный уровень безработицы... В ходе экспериментов параметры изменялись как поодиночке, так и в разных сочетаниях, которые выбирались таким образом, чтобы все величины способствовали изменениям в одном и том же направлении: либо в сторону наибольшей фертильности, либо наоборот. В результате проверки чувствительности разработчики заключили, что экономико-демографические прогнозы по сути не меняются, даже если значения параметров варьируются в диапазоне от 10 до 300% , как по отдельности, так и вместе[18]. Такого уровня устойчивости в моделировании удается добиться очень редко.

Группа **TEMPO не рассматривала в документации вопрос достоверности** модели. Нет никакой информации о возможном сопоставлении ее поведения с историческими данными; проверка на правдоподобность не проводилась. Все положения модели сформулированы предельно четко, и читатель сам может выбрать, считать их обоснованными или нет, и стоит ли доверять результатам расчетов.

7.9. Реализация

Модель **TEMPO производит впечатление целостной, зрелой работы**. Группа TEMPO Центра исследований *General Electric* выпустила базовую версию в 1968 г., а затем провела ее доработки для более чем 30 стран. Форма адаптированных версий была самой разной. Усеченную версию можно просчитать вручную на калькуляторе — этот

метод применялся в Боливии и Непале. Четырехсекторную модель, учитывающую зарубежные и государственные инвестиции в промышленность, импорт, программы образования и планирования семьи, использовали в Венесуэле.

Агентство USAID и группа TEMPO совместно выбирали страны, для которых делалась адаптация модели, и демонстрировали результаты местным правительствам. В выбранных странах сотрудники TEMPO работали на базе местных отделений USAID. Условия каждый раз были разные, стратегии применялись в соответствии с ними. В Перу группа TEMPO работала совместно с Министерством национального планирования, в результате была создана местная программа по народонаселению. В Венесуэле наилучшей базой для работы был исследовательский и образовательный институт, занимавшийся подготовкой государственных управленцев; в модель включили столь важный для Венесуэлы нефтедобывающий сектор. В Боготе (Колумбия) штаб-квартирой стал Региональный центр изучения населения, и это позволило распространять идеи моделирования по всей Латинской Америке.

Работая в разных странах, группа TEMPO постепенно изменила свой подход[19] и начала предлагать сами услуги моделирования, а не конкретные модели или результаты расчетов. Работа велась в сотрудничестве с местными специалистами, чтобы у них была возможность реализовывать собственные идеи и учиться на собственных же ошибках. Как правило, местные специалисты в свое время проходили обучение в промышленно развитых странах, поэтому первым их стремлением было сделать модели больше и сложнее. Но это превышало возможности по сбору данных в стране, и такая работа стала бы бессмысленной. Поэтому сотрудники TEMPO стремились не усложнять, а упрощать модели, делать их более прозрачными и понятными, чтобы их суть можно было быстро объяснить управленцам и лицам, принимающим решения.

Во многих странах модель использовали с практическими целями — в Перу, Колумбии, Гондурасе, Эквадоре, Венесуэле и др. Работа включала в себя проведение презентаций, семинаров и обучающих курсов по моделированию. Финансированием занималось Агентство USAID. Как минимум в двух странах (Того и Мали) простую модель TEMPO I взяли из литературных источников и применили для планирования локально, при этом местные специалисты вообще ничего не знали об Агентстве USAID и группе TEMPO.

Судя по отчетам TEMPO, принимающие страны поначалу относились к модели с некоторой подозрительностью или просто любопытством, без какой-либо враждебности, несмотря на то, что она ратует за низкую рождаемость, в то время как исходное мировоззрение многих правительств считает высокую фертильность благом. Резкое не-

приятие модели исходило лишь от научных кругов в Америке и Европе — там модель TEMPO сочли примитивной и пропагандистской, причем стоявших за ней разработчиков объявили ярыми мальтузианцами. Появилось несколько моделей, призванных показать, что результаты **TEMPO не заслуживают доверия, потому что в ней экономический** рост чувствителен к численности населения, а обратной чувствительности нет. Среди таких «ответных» моделей — LTSM и BACHUE, описываемые в следующих главах.

Группа **TEMPO и Агентство USAID хорошо сотрудничали на протяжении** десяти лет, однако затем, в 1977 г., сменился директор подразделения **USAID, занимавшегося вопросами населения, и финансирование** проектов TEMPO прекратилось. За два последующих года группа не получила от USAID ни одного контракта на работы, и сотрудники были распущены. Модель **TEMPO II разделили на две новых, еще более** простых системы — DEMOS и RAPID, чтобы их можно было запускать на мини-компьютерах и демонстрировать аудитории все их особенности буквально за час. Эту работу для USAID делали уже другие исполнители. Еще ряд экономико-демографических моделей с похожими целями разрабатывало Бюро переписи населения США.

Модель **TEMPO сыграла важную роль благодаря подробной документации** и своей распространенности, и нам достоверно известно, что некоторые управленцы меняли свою точку зрения после знакомства с системой. Вместе с тем, в период 1960—1980 гг. у большинства правительств изменилось отношение к росту численности населения. Если в 1960 г. лишь 10% населения имели доступ к программам планирования семьи, то в 1980 г. эта величина уже достигала 90%. Правительства стран, на которые приходится 80% численности населения третьего мира, уже осведомлены о влиянии роста населения на экономику и разрабатывают соответствующие демографические программы[20].

Мы никогда не узнаем, в какой степени работа TEMPO повлияла на изменение взглядов о росте численности населения — роль любой модели, созданной для распространения идеи, отследить трудно. Вполне вероятно, что даже сами сотрудники **TEMPO и USAID не представляли** последствий своей работы. Однако можно с уверенностью сказать, что TEMPO повлияла на разработчиков других экономико-демографических моделей.

7.10. Требования к компьютеру

Модель на удивление проста и эффективна. **TEMPO I содержит немногим** более десятка основных уравнений, TEMPO II — более тридцати, но некоторые из них повторяются, чтобы отразить деление населения на возрастные группы. В документации на модель не описываются за-

траты времени на расчет, требования к емкости памяти и использованный язык программирования. Но если принять во внимание размер модели, можно сказать, что она совершенно не требовательна к вычислительным возможностям. Программу можно с легкостью воссоздать на Фортране или любом другом языке программирования.

7.11. Документирование

За годы работы сотрудников **TEMPO не раз просили рассказать о модели** как технической аудитории, так и тем, кто не имеет соответствующей подготовки. Часто родным языком слушателей был не английский. По этой причине документация на модель написана доходчиво и понятна самому широкому кругу читателей. Специфические термины в ней не используются, уравнения приводятся с описанием их сути и значения. Обязательно проводится сопоставление поведения с процессами из реальной жизни.

Составить документацию для TEMPO было довольно легко, потому что в самих моделях нет математических или понятийных сложностей. Описание привязано к структуре модели, она логически хорошо обоснована, результаты представлены в нескольких вариантах с пояснениями. Данные взяты из доступных в разных странах источников и статистической обработке не подвергались.

В описании структуры используются алгебраические обозначения, а не операторы какого-либо языка программирования. Насколько нам известно, программный код TEMPO не публиковали ни для какой из версий модели, за исключением совсем усеченных. Однако модель настолько проста, что на основе алгебраических уравнений рабочую программу может составить любой более или менее подготовленный специалист.

Ссылки на источники

1 GE-TEMPO, «Economic Demographic Research and Studies at TEMPO», материалы можно получить в группе TEMPO: TEMPO Population Studies Unit, 777 14th Street, NW, Washington, D. C., 2005, брошюра без указания даты издания.

2 Информация получена в частной беседе 28 октября 1975 г.: *Hemmer C.* Office of Population, USAID, October 28, 1975, а также 26 октября 1975 г. в беседе с: J. Palmisano. TEMPO.

3 *Brown R.A.* Survey of TEMPO Economic-Demographic Studies. GE74TMP-19, Washington, D. C., июль 1974 г.

4 См. работу: *Coale A.J., Hoover E.M.* Population Growth and Economic Development in Low-Income Countries: a Case Study of India's Prospects. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1958.

[5] *McFarland W. E., Bennett J.P., Brown R.A.* Description of the TEMPO II Budget Allocation and Human Resources Model. GE73TMP–13, апрель 1973 г. Отчет подготовлен в рамках контракта: AID Contract no. 3611, Task Order No. 4, GE-TEMPO, Santa Barbara, California, с. 21.

[6] *Herrick B., Moran R.* Declining Birth Rates in Chile: their Effects on Output, Education, **Health, and Housing. 71TMP–56, апрель 1972 г., отчет подготовлен для** Агентства **USAID группой GE-TEMPO, Santa Barbara, California**, см. разделы 3—4.

[7] Ранее упомянутый источник: *Brown R.A.*, с. 21.

[8] Ранее упомянутый источник: *Herrick B., Moran R.*, с. 8.

[9] Там же, с. 12.

[10] В некоторых вариантах моделей для разных стран государственные расходы могут фигурировать в нескольких обратных связях.

[11] Ранее упомянутый источник: *McFarland W. E., Bennet J.P., Brown R.*, с. 18.

[12] Там же, с. 22.

[13] Ранее упомянутый источник: *Herrick B.*, Moran R.

[14] *Enke S.* и др. Description of the Economic-Demographic Model: доработанное издание 68TMP–120, подготовленное для Агентства USAID группой GE-TEMPO, Santa Barbara, California, июнь 1971 г., с. 32—75.

[15] *Enke S.* Using TEMPO II: a Budget Allocation and Human Resources Model. GE73TMP-12, GE-TEMPO, Santa Barbara, California, апрель 1973 г., с. 15.

[16] *Brown R.A.* Survey of TEMPO Economic-Demographic Studies. GE74TMP-19, GE-TEMPO, Center for Advanced Studies, Santa Barbara, California, июль 1974 г., с. 25.

[17] Вот одна из множества статей, выражающих подобную точку зрения: *Davis K.* Population Policy: Will Current Programs Succeed? // Science. 1969. 164, 522.

[18] Ранее упомянутый источник: *McFarland W. E.* и др., с. 25.

[19] Бóльшая часть информации о реализации в этом разделе получена в частных беседах сотрудниками TEMPO и USAID: H. Cole из группы TEMPO, C. Hemmer из Агентства USAID.

[20] *Salas K.M.* The State of World Population 1982. New York United Nations Fund for Population Activities, 1982.

8
ГЛАВА

LTSM: «гонка вооружений» между производством и потреблением

8.1. Организационные вопросы

Название LTSM расшифровывается как «долговременная социально-экономическая имитационная модель». Она была частью большого проекта, посвященного изучению последствий роста численности населения с разной скоростью по разным странам мира и влиянию этого процесса на развитие сельского хозяйства. Проект финансировал Фонд ООН в области народонаселения (United Natious Found for Population Activities, UNFPA), а непосредственное управление работами вело аналитическое подразделение Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (Food and Agriculture Organization, FAO).

Исходные намерения FAO были теми же, что и у заказчиков модели TEMPO: помочь тем, кто занимается планированием в странах третьего мира, описать существующее положение и проверить различные виды стратегий, чтобы достичь желаемой цели. Работы по моделированию разбили на три этапа. Первые два — создать модель-прототип и настроить ее для демонстрации на описание конкретной страны. В нашей книге рассмотрены именно эти стадии. Страной-объектом исследования выбрали Египет. Третья стадия — передача модели и ответственности за ее адаптацию от FAO к сотрудничающим странам. Ее начали проводить в жизнь в Египте, Пакистане и Иордании. Пакистанская версия была достаточно хорошо проработана, ее черновой вариант снабжен документацией.

Несмотря на то что исполнители работ (FAO), финансирующая сторона (UNFPA) и страны-заказчики были разбросаны по всему земному шару, все они входили в организационные структуры ООН, и это позволяло успешно координировать усилия. Аналитическое подразделение FAO считало методы моделирования (и систему LTSM в частности) очень действенным инструментом, поэтому работы велись в благоприятной обстановке.

8.2. Цели

Основная задача модели **LTSM состояла в том, чтобы помочь развивающимся** странам полнее учитывать вопросы, связанные с населением, в планировании развития, в особенности сельского хозяйства[1].

Другими целями были: проведение принципиального исследования методами моделирования и понимание особенностей экономического развития[2], а также совершенствование возможностей планирования в странах-участницах проекта за счет опыта, приобретенного в ходе его выполнения.

В первом опубликованном отчете приводятся критерии включения/невключения в модель различных факторов. Система предназначалась для долговременного планирования, затрагивающего самые разные отрасли экономики и пригодного для использования в масштабах страны, с особым упором на развитие сельского хозяйства, народонаселение и занятость, что вполне логично, если учесть, что за работы отвечала Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН. Модель, безусловно, не относится к числу «чисто теоретических», краткосрочных или полностью обобщенных, приложимых ко всему миру в целом или к отдельно взятым регионам. В табл. 8.1 приводятся два списка проблем, из которых разработчики выбирали, какие включить в модель, а какие нет[3].

Невысказанной целью модели **LTSM могло быть представление бо**лее подробного альтернативного варианта модели TEMPO, описанной

Таблица 8.1

Включены в модель	Не включены
Рост численности населения	Политическая напряженность и конфликты
Нехватка пахотных земель	Неравенство между регионами
Безработица	Распределение доходов
Миграция из сельской местности в города	Загрязнение и природные ресурсы
Отсталость системы образования	Миграция между странами
Экономический дуализм	Нехватка квалифицированной рабочей силы
Недостаток капитала	Инфляция
Нищета	Система землевладения и землепользования
Долги перед другими государствами	

в главе 7. Система TEMPO показывает отрицательное влияние роста численности населения на экономическое развитие, но не содержит обратной связи от роста экономики к численности. Разработчики LTSM особое внимание уделили тому, чтобы в их модели учитывалось влияние в обе стороны. Кроме того, создатели модели были в курсе работ по проекту **BACHUE, который описан в главе 9. В нем также учитывалось** влияние экономики на рождаемость.

Возможность адаптировать модель для каждой конкретной страны позволяла учитывать характерные особенности разных государств, поскольку проблемы в них были разные. Например, для Пакистана ключевое значение имело производство продовольствия, в то время как для Египта — миграция из сельских районов в городские[4].

8.3. Методы

Цель модели **LTSM накладывает ограничение на выбор методов. Мо**дель должна была быть гибкой в применении и доступной для использования в разных странах, где нет профессионально подготовленных специалистов и быстродействующих вычислительных центров. Поэтому разработчики должны были сделать систему совсем не требовательной к мощности компьютерной техники, а ее структуру — простой для понимания[5]. Поскольку объектом исследования были страны третьего мира, где со сбором данных дела обстоят плохо, применение сложных статистических методов заведомо исключалось[6]. Для программирования выбрали Фортран — доступный и широко распространенный язык.

Поскольку модель предназначалась для оценки долговременной перспективы, необходимо было проверять различные варианты, меняя значения параметров. Кроме того, проверять следовало не только внешние факторы, но и разные стратегии — сочетания принимаемых мер[7].

Исходную модель разработал венгерский экономист Бела Мартос. Он опирался на опыт, полученный при изучении моделей централизованного планирования Яноша Корнаи[8]. Ву-Лонг Лин, адаптировавший модель под нужды Египта, использовал некоторые понятия из эконометрики и экономической теории. Тем не менее модель не так привязана к статистическим методам, как обычный эконометрический анализ. Она более динамична, ее временной диапазон (20—25 лет) гораздо продолжительнее того периода, который использует большинство эконометристов. Джей Форрестер, основатель системной динамики, тоже повлиял на создание модели LTSM — его идеи и методы нашли свое отражение в системе[9]. Тем не менее нельзя сказать, что модель полностью построена на системно-динамической парадигме. Разработчики

LTSM включили в нее множество обратных связей, однако не используют это понятие, чтобы объяснить поведение системы. Более того, они гораздо шире прибегают к линейным зависимостям, чем это характерно для системной динамики, пытаются прослеживать влияние на поведение не величины уровня, а скорости изменений, и учитывают запаздывания лишь в той степени, в которой они явно заданы в программе в виде переменных состояния.

8.4. Границы

Модель LTSM изучает взаимное влияние между населением, внешней торговлей, обрабатываемыми сельскохозяйственными землями и производством. Население подразделяется на городское (наемные работники в промышленности) и сельское, с традиционным укладом жизни (обработка собственных наделов земли силами семьи). Соответствующим образом делится и земля — находящаяся в собственности или обрабатываемая наемной рабочей силой. Учитывается половозрастная структура населения. В производстве выделено семь отраслей: сельское хозяйство, товары долговременного использования, товары краткосрочного использования (продукция широкого потребления), сфера обслуживания, строительство, образование и государственное управление. Три из них (сельское хозяйство, потребительские товары и услуги) также делятся на относящиеся к традиционному укладу жизни и к новому, городскому стилю. При оценке занятости считается, что остальные отрасли используют только наемную рабочую силу.

В модели много внешних переменных (см. рис. 8.1). Разработчики делят их на «целевые переменные», которые будут варьироваться по ходу имитационного моделирования, и «внешние переменные», которые принудительно задаются извне (в их число входят, например, распределение работников по отраслям, величина импорта, затраты капитала на единицу продукции). В системе существует пять целевых переменных: распределение инвестиций, объемы экспорта, уровень потребления, освоение земель и «политика в области народонаселения». Это ключевые точки, воздействие на которые возможно лишь при государственном контроле и управлении обществом. Широкое использование внешних переменных существенно упрощает структуру модели. Но вместе с тем это сильнее привязывает результаты к тем прогнозам или выбору стратегии, за которыми скрываются мысленные модели.

Когда требуется, чтобы модель была простой, многое неизбежно приходится исключать из нее, а для остальных переменных использовать обобщенные значения. На численность населения и экономическое развитие, безусловно, влияют такие факторы, как распределение

доходов, погодные условия, уровень зарплат, цены, эрозия почвы, траты на оборонный сектор, однако все они не включены в модель LTSM. Разработчики были последовательны в том, чтобы система оставалась максимально простой и непротиворечивой. Правило, которому они следовали, звучит так: «если сомневаешься, выброси». В документации описаны все важные исключения и даже объясняется, почему на это

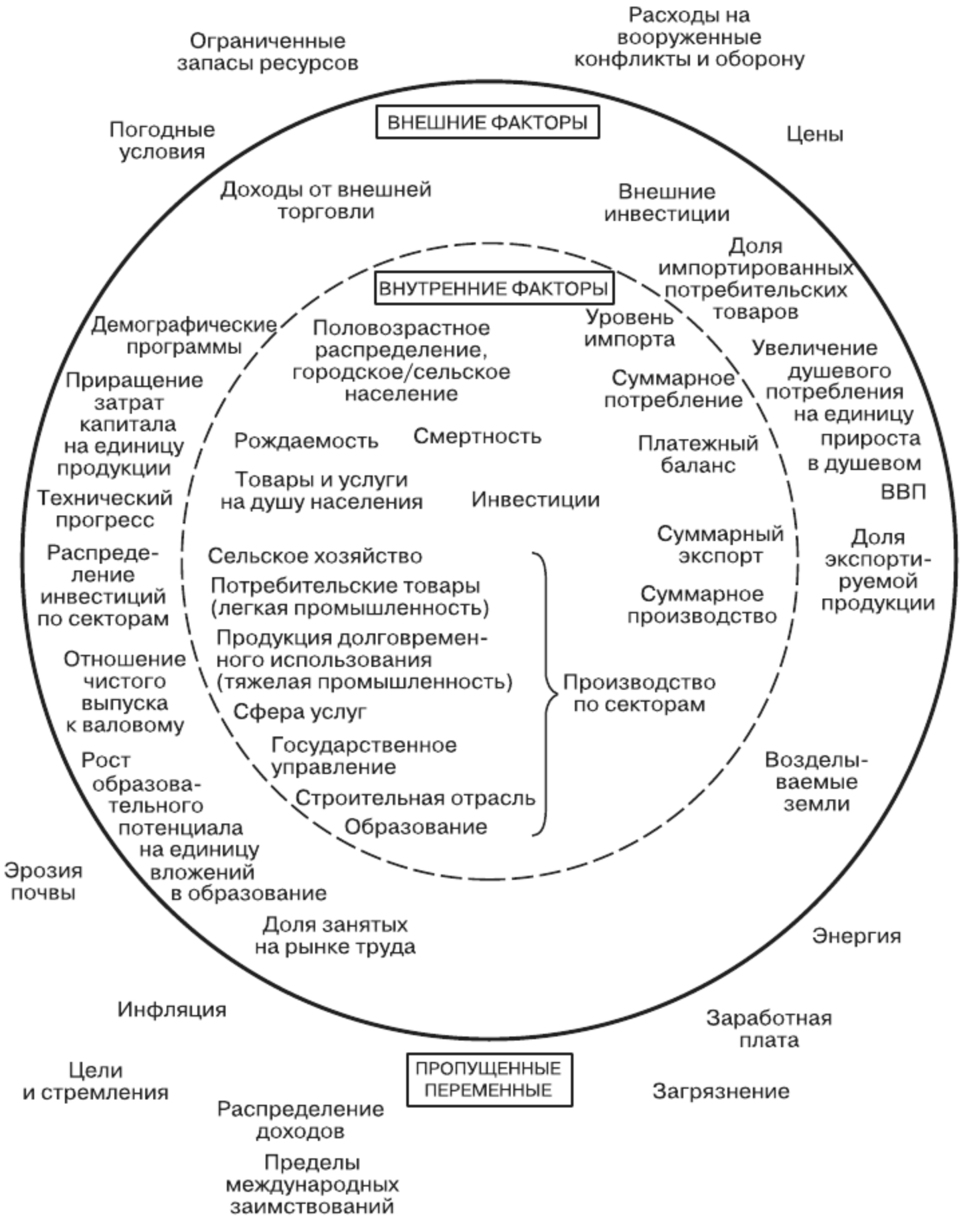


Рис. 8.1. Границы модели LTSM

пришлось пойти. Одни исключения делались из-за того, что проблемы проявлялись лишь в части стран, носили кратко- или среднесрочный характер или были слишком сложны для описания[10]. В других случаях параметры могли принимать лишь несколько возможных значений, из которых следовало сделать выбор (например, так поступили с величиной заимствований у других государств). Разработчики объяснили, что в их задачу не входило проводить сравнительную оценку по готовности разных стран мира давать деньги в долг[11]. Система образования описана в модели довольно поверхностно: вложения в образовательную сферу непосредственно приводят к росту уровня образования у взрослых слоев населения. Планировать более сложные долговременные модели, описывающие развитие системы образования, — слишком сложная задача, поэтому разработчики ограничились простым представлением[12].

8.5. Структура

В модели LTSM соревнуются производство и потребление, идет своеобразная «гонка вооружений». Потребление — единственный серьезный фактор воздействия на экономический рост в системе LTSM. То, что направлено на потребление, отвлекается от инвестиций, а без них экономика не растет.

Структуру, с помощью которой модель описывает потребление, иллюстрирует рис. 8.2. Совокупное потребление рассчитывается как сумма государственных расходов и потребление частного сектора. Государственное потребление представляет собой величину потребления за прошлый год плюс приращение расходов, которое рассчитывается пропорционально средствам, отводимым на вложение в образовательный сектор и другие виды государственных услуг. Распределение средств задается внешней переменной.

Потребление в частном секторе экономики — произведение душевого потребления и численности населения. Потребление на душу населения растет пропорционально увеличению суммарного производства на душу населения. Обратите внимание: в этой части структуры скорость зависит от скорости, рост от роста. Значение имеет не абсолютная величина производства на душу населения, а скорость его изменения — в модели считается, что именно она увеличивает потребление. Такие предположения типичны для модели LTSM. Практически каждое уравнение, описывающее поведение в модели, основывается на скорости изменения, а не абсолютном значении уровня. Эластичность потребления изменяется в ответ на изменение скорости роста ВНП — это внешняя переменная, она расценивается как ключевая, определяющая поведение системы. Эластичность потребления по сни-

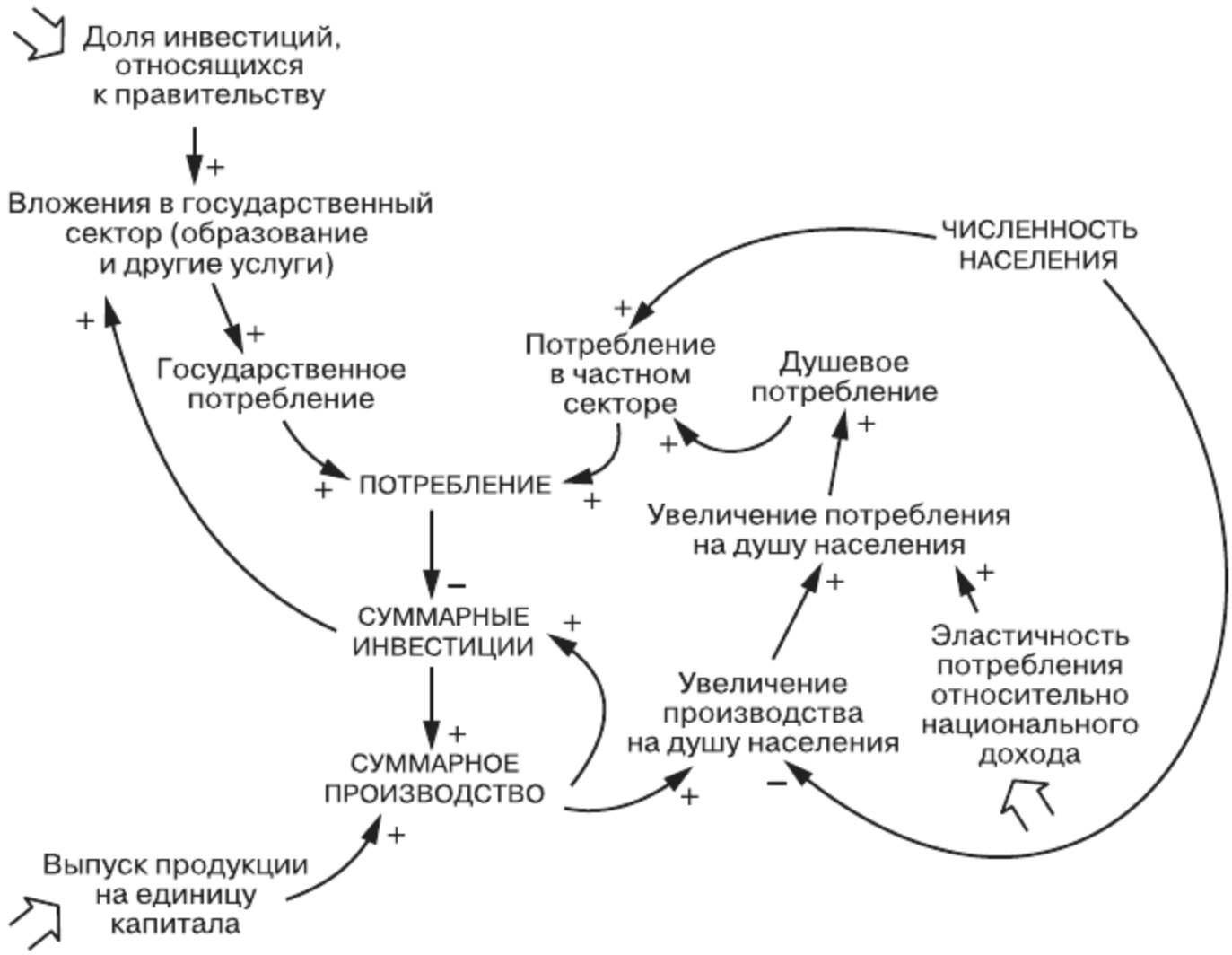


Рис. 8.2. Учет потребления в модели LTSM

жению имеет нулевое значение — если доходы на душу населения снижаются, то душевое потребление уменьшаться не будет.

Численности населения (второму фактору, определяющему потребление) в модели отводится отдельный участок структуры. В нем много переменных состояния и значимых внутренних обратных связей, самые важные из которых показаны на рис. 8.3.

Все население разбито на четыре возрастных группы (на структурной диаграмме это не показано) в модели-прототипе и на 16 групп в демонстрационной модели, построенной для Египта. Количество рождений за год зависит от численности женщин детородного возраста и процентной доли женщин в каждой возрастной группе, имеющих детей (это описывается коэффициентом фертильности). Фертильность уменьшается, если происходит рост уровня образования, если увеличивается занятость в производственном секторе относительно численности женщин и если государство проводит демографические программы. Стратегии планирования семьи в модели задаются внешним множителем, влияющим на связь между образованием и фертильностью: в этом случае высокий уровень образования приводит к более существенному уменьшению рождаемости. Если же образовательный сектор не оказывает никакого влияния, то и множитель не поможет. Затраты на проведение демографических программ отдельной стро-

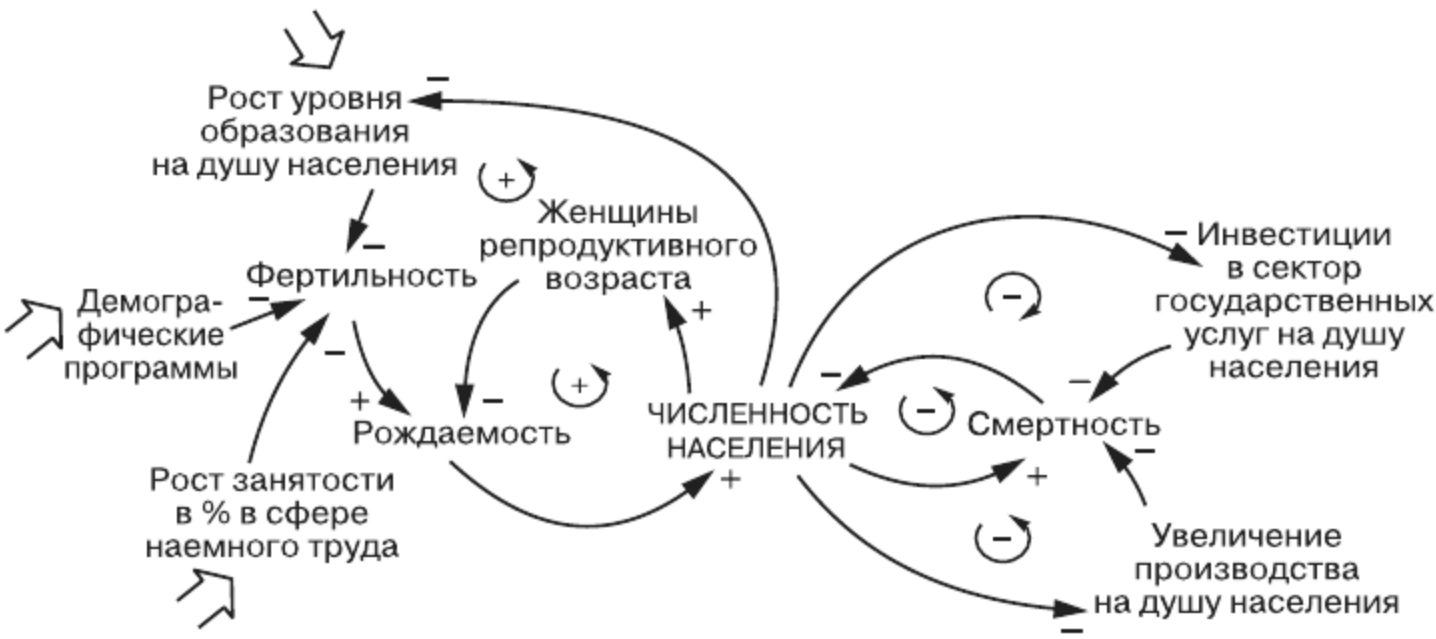


Рис. 8.3. Сектор населения в модели LTSM

кой не выделяются, конкретного механизма для моделирования этого процесса не предусмотрено. И вновь здесь следует обратить внимание на характер связи: скорость уменьшения фертильности зависит в модели от скорости распространения образования, а не от конкретного уровня образования, которого достигло население. Так, если образование начинает распространяться со скоростью 10%, это приведет к снижению фертильности, например, на 5%, независимо от того, каковы текущие уровни образования и фертильности.

Такая зависимость создает две петли положительной обратной связи (см. рис. 8.3). Рост численности населения вызывает дальнейшее увеличение численности как за счет того, что через некоторое время станет больше женщин детородного возраста, так и за счет не столь быстрого распространения образования на душу населения. Из-за двух циклов положительной обратной связи численность населения будет экспоненциально расти до тех пор, пока что-то не станет противодействовать структуре, ответственной за рост. Либо рождаемость уменьшится, либо смертность увеличится, либо одновременно произойдет и то, и другое.

Убыль населения за год в модели зависит от численности населения и коэффициента смертности (количество смертей на тысячу человек в год). Смертность уменьшается за счет вложений на душу населения в государственные секторы и за счет роста душевого значения ВВП. Рост численности населения отрицательно влияет на оба показателя. Смертность зависит от двух отрицательных петель обратной связи. Если ВВП и государственные секторы экономики остаются на прежнем уровне, то увеличение численности населения приведет к снижению ВВП и государственных услуг на душу населения, что приведет к росту смертности. В результате численность населения уменьшится, и система стабилизируется.

Фактически, в «гонке вооружений» между потреблением и производством за увеличение потребления несет ответственность экспоненциальный рост численности населения. Теоретически его можно преодолеть либо за счет замедления роста душевого производства (настолько, что возрастет смертность), либо за счет увеличения занятости и распространенности образования (настолько, что это существенно снизит фертильность).

Производственная функция в модели для каждой отрасли тяжелой промышленности рассчитывает текущий выпуск как объем за предшествующий год плюс прирост за счет изменения капитала на единицу продукции и за счет инвестирования за прошлый период. Технологический прогресс описан коэффициентом, задаваемым извне. Роль рабочей силы в производстве не учитывается, поскольку в модели предполагается, что работников всегда в избытке, т. е. их численность не может служить ограничивающим фактором — авторы особо подчеркивают это в документации.

Один и тот же вид функции используется и в отрасли, производящей потребительские товары (легкая промышленность), и в тяжелой промышленности, и в образовании, и в секторе услуг, и в секторе государственного управления. При этом величина капитала на единицу выпуска в них может быть разной. Лишь в сельском хозяйстве и строительстве вид производственной функции другой.

Инвестиции в строительство рассчитываются только за счет внутренних переменных — это единственный вид вложений, не зависящих от внешних параметров. Если строительный капитал недостаточен для удовлетворения потребностей экономики, в эту отрасль направляется больше инвестиций, и настолько же меньше средств остается для вложения в другие секторы. Подобный внутренний баланс поддерживается только для строительной отрасли. В остальных секторах при нехватке капитала средства занимают за границей или получают за счет импорта.

В сельском хозяйстве выпуск продукции зависит от площади обрабатываемых земель и урожайности (см. рис. 8.4). Площади увеличиваются за счет освоения новых территорий (описывается внешним параметром) или уменьшаются в результате изъятия земель под застройку и прокладку дорог. Урожайность растет за счет увеличения инвестирования на единицу площади (в удобрения, семенной фонд, пестициды). И снова работает зависимость: на скорость изменения урожайности влияет скорость изменения вложений. Рост урожайности линейно зависит от обоих факторов и никакими пределами не ограничен.

Жирные линии на рис. 8.4 отражают замкнутый цикл, ведущий к увеличению сельскохозяйственного производства при росте инвестиций в эту отрасль. Вложения отвлекаются от других секторов, и это оказывает сдерживающее влияние. Однако использование мате-



Рис. 8.4. Сектор сельского хозяйства в модели LTSM

риальных потоков происходит со все возрастающей эффективностью за счет более совершенных технологий, и это еще один фактор роста. Он действует не только в сельском хозяйстве, но и в других секторах, где производство зависит от инвестиций. Рост сельскохозяйственного сектора в модели LTSM **происходит быстро, поскольку ему не препят**ствует эрозия почв, уменьшение плодородия, ухудшение окружающей среды и другие факторы. Единственное препятствие для роста сельского хозяйства в модели — его увязка с другими секторами экономики, в которых рост происходит еще быстрее и тем самым отвлекает ресурсы на себя. Сельскому хозяйству достается доля ВВП, и рост в этой отрасли возможен только в том случае, если растет вся экономика.

Итак, экономическое производство в модели LTSM движет вперед положительная обратная связь. Каждый сектор производства обеспечивает выпуск продукции, которую можно затем инвестировать, а инвестиции ведут к росту производства. Такой цикл порождает экспоненциальный рост экономики. Внешние переменные могут влиять на него за счет изменения:

1) величины капитала на единицу продукции по секторам;
2) распределения инвестиций между секторами;
3) прибыльности по секторам (разницы между валовым и чистым продуктом).

Потребление может затормозить рост, поскольку потребляемая продукция уменьшает объемы инвестиций.

Зависимость экономики от демографических факторов проявляется в том, как производство и потребление соотносятся между собой. В большинстве случаев связь между этими структурами в системе замедляет экономический рост. Если производство расширяется, доходы людей будут расти. Население сможет получать больше государственных услуг, в результате смертность уменьшится, численность станет выше, потребление увеличится. Рост потребления отвлекает средства от инвестирования в экономику, ее расширение замедлится, вплоть до того, что доходы уменьшатся, а смертность станет выше. Однако если экономический цикл достаточно силен, он сможет поддержать благосостояние населения, обеспечить высокий уровень занятости и образованности людей, что снизит рождаемость и позволит экономике развиваться дальше.

Образование играет в модели важную роль, смещая акцент от населения в сторону роста экономики. Чем выше образование на душу населения, тем ниже фертильность, тем медленнее рост численности. Меньшее количество детей означает, что их проще прокормить, дать им образование — потребление при этом снижается. Это оставляет больше средств для инвестирования в образование и экономический рост. Проблему с численностью населения можно решить именно так. Однако тот же самый цикл становится разрушительным, если численность слишком велика и тормозит рост экономики. В этом случае образовательный цикл ведет к обратным последствиям: большему количеству людей труднее дать образование, распространенность образования на душу населения снижается, фертильность растет, численность населения увеличивается, средств на инвестиции в образование и рост не остается. Детей все больше, все труднее дать им образование.

В структуре модели предусмотрены элементы, описывающие миграцию между городскими и сельскими районами и смещение от семейной занятости к наемному труду. Однако значительного влияния на поведение системы ни один из этих факторов не оказывает. Развитие основных производящих отраслей экономики (т. е. секторов промышленности) влияет на занятость, но излишек рабочей силы всегда находит применение в традиционной сфере — в сельском хозяйстве[13]. Причинно-следственная структура, описывающая занятость, приведена на рис. 8.5. Если начать с левой части схемы, по ней можно проследить, что вложения в основные секторы экономики одновременно увеличивают производство и занятость, при этом производство в расчете на каждого работника растет. Если выпуск увеличивается быстрее, чем численность рабочей силы (это зависит от параметров, заданных извне, величины капитала на единицу продукции и вели-



Рис. 8.5. Структура миграции населения в модели LTSM

чины капитала на одного работника, а также соотношения между ними), то производительность труда будет расти, увеличивая разницу между промышленным производством и традиционными отраслями (сельским хозяйством). Начнется отток рабочей силы из традиционного сектора экономики. Это изменение в распределении описывается уравновешивающим множителем, причем в модели LTSM **смещение возможно только в одну сторону — из сельского хозяйства в промышленность.**

Работники перемещаются из сельского хозяйства в промышленность по мере того, как в ней создаются рабочие места. Если безработица падает до очень низких значений, в промышленности начинается замещение рабочей силы капиталом (без затрат), тогда на единицу инвестиций приходится меньше работников.

При оттоке рабочей силы из сельского хозяйства его производство не уменьшается. В этой отрасли растет производительность труда, и это несколько уменьшает разницу между производительностью в промышленности и традиционном секторе экономики, а значит, замедляет миграцию.

Самые важные элементы структуры в модели LTSM показаны на рис. 8.6. В ней довольно много внешних параметров, и любой,

кто разберется в строении модели, сможет с их помощью обеспечить по желанию либо экономический рост, либо застой. Однако правдоподобными можно считать не все варианты. Так, для роста численности населения цифра вряд ли может превышать 4% в год. Для экономи-

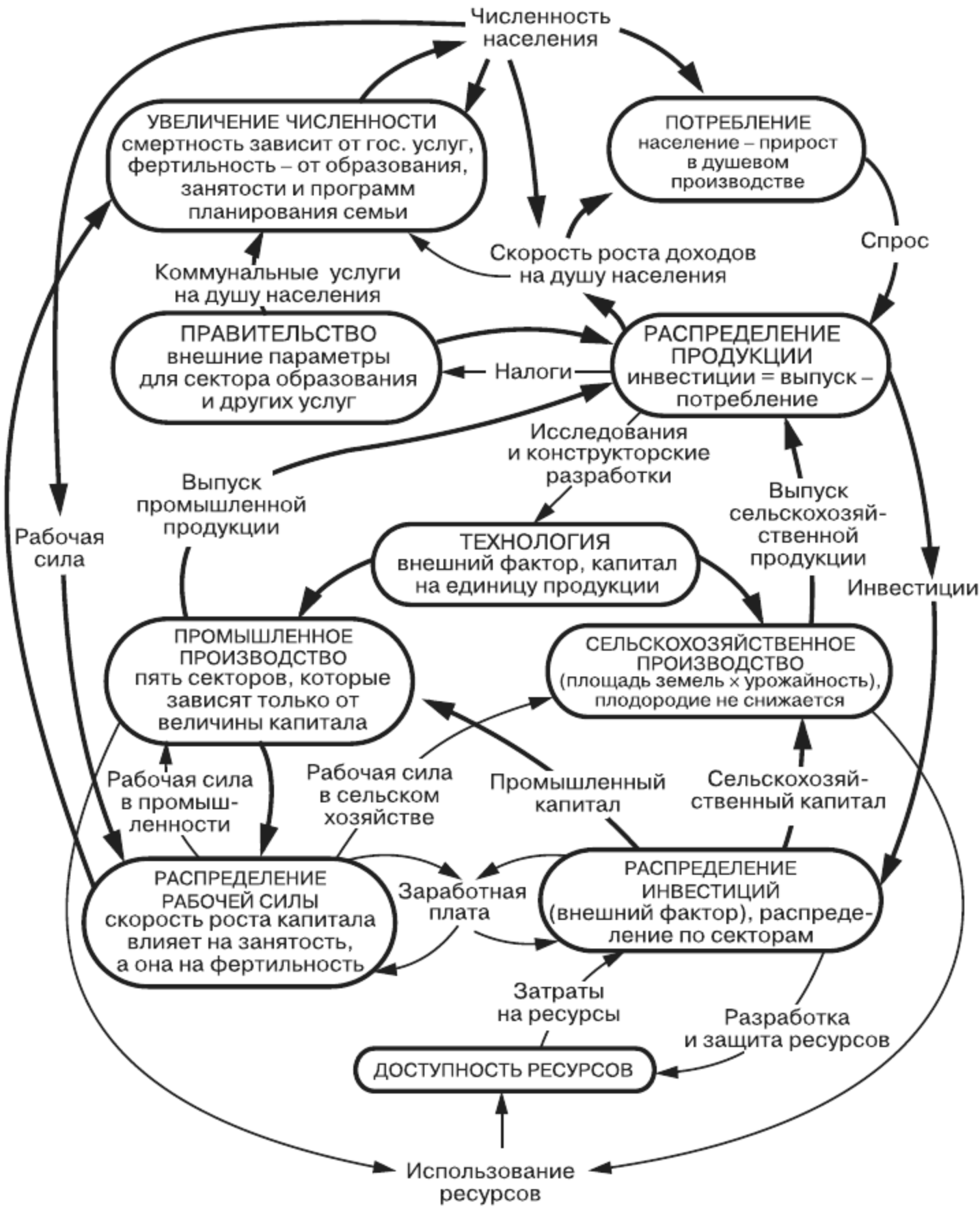


Рис. 8.6. Структура для сравнения, построенная для модели **LTSM. Элементы**, взятые в толстые рамки, и связи, отмеченные жирными стрелками, включены в модель. Остальные элементы и связи в модели отсутствуют и показаны для сопоставления

ческого роста уровень ниже 4% будет слишком низким. В итоге большинство параметров примет такие значения, что экономический рост и увеличение численности будут сопоставимы.

Расходы на образование и сельское хозяйство в такой системе приносят свои плоды (увеличение производства и смещение акцента с численности населения на рост экономики). А вот вложения в здравоохранение приводят к снижению смертности, что увеличивает население и замедляет экономический рост, вплоть до его остановки.

В модели используется много переменных состояния (например, численность населения). Их обычная роль в динамических системах — отобразить запаздывание, не допустить резких изменений, которых не бывает в реальной жизни. Однако в модели LTSM такой эффект полностью сводится на нет массовым применением зависимостей, которые связывают потоки с потоками, вместо того чтобы рассчитывать потоки как функции от переменных-уровней. Если бы изменения в образовании формировали уровень образования, и фертильность зависела именно от него (что вызвало бы определенное запаздывание в восприятии и социальных подвижках), то затраты на образование давали бы гораздо меньший эффект, и проявлялся бы он медленнее, как это и происходит в реальной жизни. Непосредственное связывание потоков с потоками делает поведение системы гораздо более изменчивым, чем в моделях, где потоки зависят от уровней.

8.6. Данные

В документации на модель LTSM **четко указаны требования к данным** и вполне внятным языком описаны результаты[14]. Требования к данным довольно умеренные: для модели нужны начальные значения по доступным и легко измеряемым параметрам: площадь обрабатываемых земель, производство по секторам экономики, величина внешних заимствований, половозрастное распределение населения. Данные, описывающие стратегии и носящие внешний характер, более многочисленны и сложны для понимания.

В демонстрационной модели, построенной для Египта, использованы данные из обычных источников информации — статистических бюро Египта и подразделений ООН. В документации не указано, откуда взяты отдельные цифры, а перечислены общие статистические сборники.

Более поздняя разработка для Пакистана содержит обширное приложение, в котором не только перечислены источники данных, но и приведены таблицы исходных значений, по которым рассчитывались параметры модели[15].

8.7. Тестирование

Проверка правильности модели заключалась в сопоставлении ее поведения с данными, накопленными за период с 1964 по 1969 г. Некоторые из результатов такой проверки приведены на рис. 8.7. При сопоставлении рассчитывался коэффициент вариации — мера расхождения между расчетными и фактическими данными. Он показал, что модель демонстрирует поведение, весьма схожее с реальной системой[16]. По заявлению разработчиков, схожесть между расчетными и фактическими данными подтверждает, что структура модели выбрана правильно и что для экономики Египта получены правдоподобные прогнозы[17]. Результаты модели сравнивались также с прогнозами египетского подразделения FAO, чтобы показать «интуитивную достоверность» модели[18]. Выдаваемые системой **LTSM оценки обычно занимают промежуточное положение между высокими и низкими вариантами прежних прогнозов FAO. Правда, разработчики не поясняют**, как именно сопоставление подтверждает адекватность модели, и не уточняют, какие предположения были использованы в других прогнозах.

Сопоставление расчетных и фактических данных за 5 лет не может считаться достаточным условием для подтверждения правдоподобности в поведении модели, даже если не принимать во внимание довольно слабое соответствие между графиками ВВП и инвестиций. Экономико-демографическая обратная связь за столь короткий срок себя все равно бы не проявила. А более продолжительные прогоны модели в документации не упоминаются; создается впечатление, что модель вообще не запускали после 1980 г. Для модели, в самом названии которой фигурирует слово «долговременная», поведение за длительный период осталось неизученным. (Пакистанская модель сопоставлялась с данными за период 1968—1974 гг. и просчитывалась до 1990 г.[19])

Чувствительность проверялась за счет изменения в стандартной модели ключевых переменных по одной, друг за другом, при этом оценивались последствия в период 1970—1980 гг. Изменения в девяти ключевых переменных в течение 10-летнего расчетного периода повлияют на 13 внутренних параметров системы[20]. Из полученных результатов можно заключить, что, например, 100%-е увеличение инвестиций в сельское хозяйство в сравнении со стандартным уровнем приведет к увеличению душевого потребления в частном секторе минимум на 5% в 1980 г., а увеличение обрабатываемых площадей на 100% в том же 1980 г. приведет к уменьшению занятости на 5%. Интуитивно понять такие результаты довольно трудно. К примеру, сложно уловить причины, по которым уменьшение экспорта продукции в сель-

ском хозяйстве на 10% приводит к падению уровня образования чуть менее чем на 5%. Приведенные данные позволяют читателю увидеть, как изменения во внешних параметрах влияют на внутренние, но совершенно не объясняют почему.

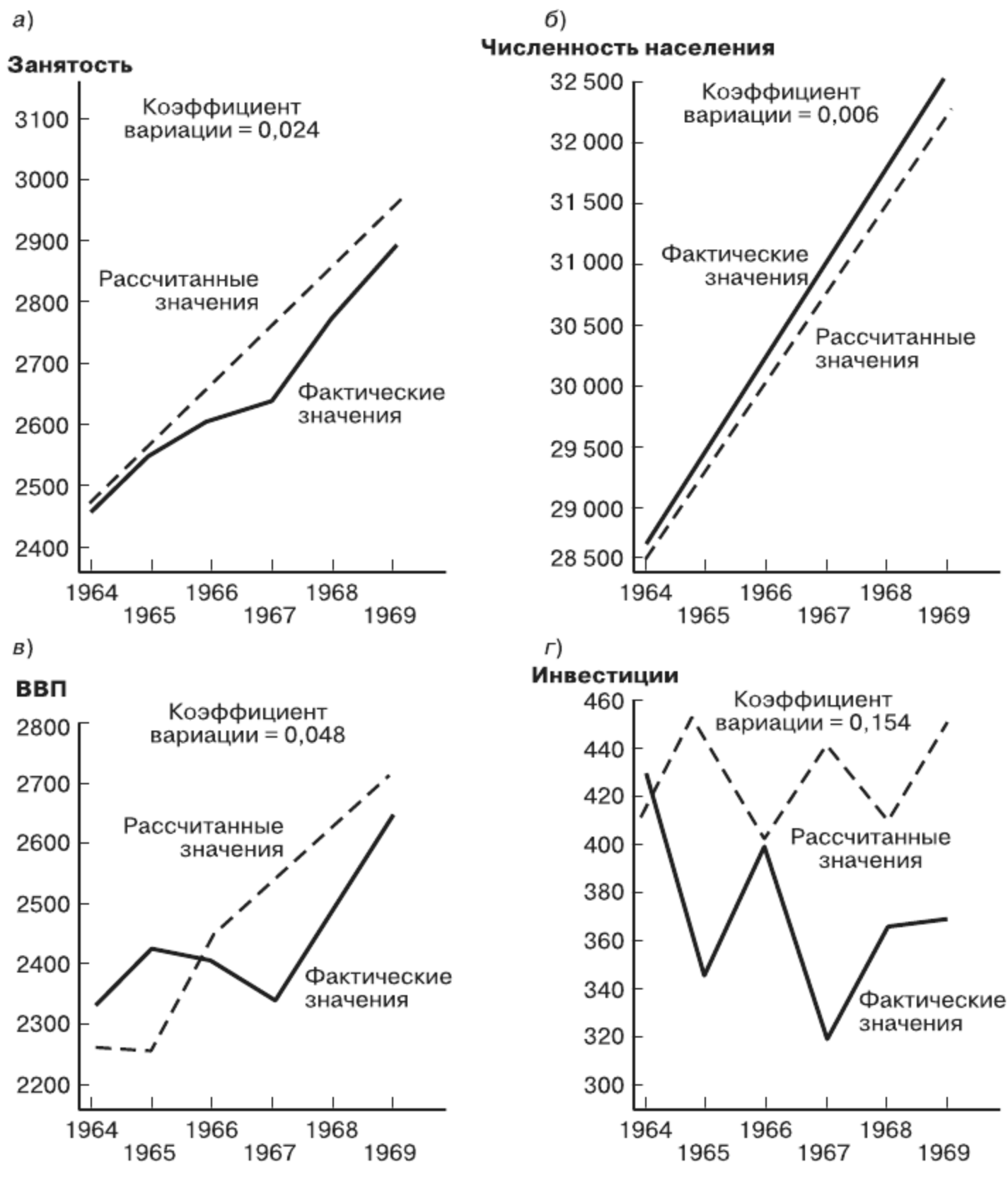


Рис. 8.7. (*а*) Рассчитанные и фактические значения занятости, Египет, 1964—1969 гг. (*б*) Рассчитанная и фактическая численность населения, Египет, 1964—1969 гг. (*в*) Рассчитанное и фактическое значение ВВП, Египет, 1964—1969 гг. (*г*) Рассчитанные и фактические объемы инвестиций, Египет, 1964—1969 гг. Данные приводятся в соответствии с источником: **Lin, Ottaviani-Carra**, с. 45

8.8. Выводы

Для египетской демонстрационной модели были протестированы три альтернативных сценария развития, с оценкой последствий в период 1970—1980 гг. Первый (альтернатива I) представляет собой продолжение прежних тенденций в формировании политики[21]. Второй — стратегия высокой занятости (альтернатива II), вложений в промышленность, образование и здравоохранение (в ущерб инвестициям в сельское хозяйство и другие секторы экономики). Альтернатива III опирается на увеличенные вложения в аграрный сектор (за счет урезания вложений в промышленность и сферу услуг). В третьем сценарии расширяется площадь обрабатываемых земель, но не происходит изменений в образовании, здравоохранении и демографической политике. Результаты трех сценариев сведены в табл. 8.2.

Авторы не указывают, возможны ли компромиссные варианты — например, неизвестно, мог ли какой-нибудь другой сценарий привести к высоким значениям ВВП при малом росте численности.

Как уже отмечалось, временной период слишком мал, чтобы демографические обратные связи могли себя проявить — для этого следовало бы увеличить продолжительность изучаемого диапазона как минимум на поколение, перекрыв период удвоения численности населения (при росте населения от 2,1 до 2,6% в год оно составляет менее 30 лет). При расчете продолжительностью в половину поколения альтернатива II дает численность населения Египта на уровне 41 млн человек (высокая занятость, низкая фертильность), при том что альтернативы I и III приводят к 43 млн человек. Разработчики также отмечают, что альтернатива II характеризуется более активной миграцией населения в города, а рабочей силы — в промышленную отрасль.

Таблица 8.2

Результаты сценариев развития в модели LTSM[22]

Сценарий	ВВП	Сельскохозяйственная продукция	Занятость	Численность населения
Альтернатива I (продолжение текущих тенденций)	Средний уровень	Средний объем производства	Низкая	Средняя
Альтернатива II (увеличение суммарных вложений, 50%-е увеличение инвестиций в образование и здравоохранение)	Низкий уровень	Малый объем производства	Высокая	Низкая
Альтернатива III (расширение обрабатываемых земель и увеличение инвестиций в сельское хозяйство)	Высокий уровень	Большой объем производства	Средняя	Высокая

Авторы модели осторожно называют ее результаты предварительными и считают, что они «должны предоставить оценочную численную основу как помощь в принятии решений»[23]. Большинство выводов по поведению модели формулируется просто, например: «развитие сельского хозяйства в альтернативе III выше, чем в альтернативах I и II»[24].

Адаптация модели для Пакистана, потребовавшая доработок и внесения изменений в структуру системы (например, введение деления на большие и маленькие частные фермерские хозяйства, учет населения как внешнего фактора), также выдавала только самые общие сценарии. На этот раз их было пять, а не три. Альтернатива I также символизировала продолжение текущих тенденций и уступала альтернативе II, уделявшей больше внимания распределению доходов, развитию сельского хозяйства и быстрому снижению фертильности. В альтернативе III **попытки развить промышленный сектор и поддержать** большие фермерские хозяйства приводили к результатам даже хуже, чем в альтернативах I и II. В этом сценарии ВВП рос медленнее, как и потребление на душу населения, был высоким уровень безработицы, а сельское хозяйство производило избыток продовольствия. Для альтернатив **I, II и III вообще характерен высокий уровень безра**ботицы (в среднем от 20,4 до 21,8% официально занятого населения). Явно недостаточный уровень занятости представляет собой основную проблему в экономике Пакистана на весь моделируемый период. Альтернатива IV **специально проверялась как вариант, в котором безра**ботицу удастся снизить, а распределение доходов улучшить, и действительно, за счет снижения фертильности и поддержки развития экономики по отдельным секторам удается добиться увеличения ВВП и душевого потребления. Авторы работы подчеркивают: «Различия в экономико-демографических особенностях в разных вариантах развития обязательно следует принимать во внимание при долговременном планировании национальной экономики Пакистана»[25].

8.9. Реализация

Группа специалистов, адаптировавших модель для условий Египта, привезла ее в свою страну (в отличие от демонстрационной модели, которая, хотя и была построена на данных Египта, но представляла собой лишь прототип и была показана только в Риме). Пакистанская группа закончила разработку своего варианта модели и подготовила документацию на нее. В 1979 г. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (FAO) уже не использовала модель, и специалисты, работавшие над ней, переключились на другие задачи. Повлияла или нет модель **LTSM на принятие решений, установить не-**

возможно. Долгосрочной поддержки, какой пользовалась в свое время TEMPO, у системы LTSM изначально не было, а энтузиазм, который поначалу испытывала по отношению к разработке FAO, постепенно иссяк. Не из-за результатов модели, а просто потому, что основные поддерживающие силы переключились на другие направления[26].

8.10. Требования к компьютеру

Модель LTSM существенно больше, чем TEMPO. Уже в прототипе системы содержалось около 140 внутренних переменных, из них 74 были отдельными, ни в чем не повторяющими друг друга[27]. Модель несложно воспроизвести на Фортране или языке DYNAMO, следуя уравнениям, приведенным в документации. Точные требования к вычислительным мощностям не указаны, однако требования к данным выполнить несложно, и расчеты на любом достаточно мощном компьютере займут немного времени.

8.11. Документирование

Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН предполагала построить модель-прототип, которую различные агентства по планированию в разных странах могли бы адаптировать к конкретной ситуации и потребностям. Также предполагалось, что разработчики исходной модели при необходимости смогут прийти на помощь местным специалистам. В такой ситуации четкая и хорошо структурированная документация просто необходима, но при этом она не должна быть перегружена лишними подробностями. Именно такую документацию и предоставила к системе группа разработчиков.

Материалы на модель **LTSM написаны понятным языком, четко упо**рядочены, в них легко разобраться. Описания рассчитаны как на технически подготовленного читателя, так и на самую обычную аудиторию[28]. В исходной документации[29] описаны цель и назначение модели, даны пояснения о том, почему выбраны определенные методы, приведены уравнения и комментарии к ним. Даны даже описания для имен переменных, чтобы проще было находить нужное место в программном коде. Документация рассказывает и о процедурах тестирования, и о полученных результатах (которые приведены как в полной форме, так и в виде краткой сводки).

Словесное описание к модели готовил Бела Мартос; оно заслуживает самой высокой похвалы за прямоту, честность и скромность изложения. В нем открыто говорится о том, как проводился выбор методов, какие у системы есть «узкие места», что она может, а что нет.

Мы [разработчики] не считаем, что долгосрочное планирование может основываться на применении только одной модели[30].

Нам хорошо известно, что во многих долгосрочных моделях используется матрица начальных коэффициентов, которая, теоретически, должна меняться со временем. Но когда дело доходит до реальных вычислений, вдруг выясняется, что матрица от времени не зависит, ее коэффициенты неизменны, и другого варианта нет. Принято считать, что лучше иметь хоть что-то, чем ничего. С нашей точки зрения, это как раз тот случай, когда лучше не иметь ничего[31].

«Стандартный сценарий» не обязательно самый хороший — это просто фиксированный набор проверенных параметров, который мы приняли за отправную точку. И его совсем не обязательно постоянно использовать тем специалистам, кто адаптирует программу к конкретной ситуации. Это всего лишь начальная точка — как калибровка оборудования перед работой. Такая процедура не должна занимать много времени. Настройки «стандартного сценария» можно изменить в любой момент, провести расчет, а потом снова поменять[32].

В документации открыто признаны недочеты модели в том виде, как их оценивают сами разработчики[33]. В специальном руководстве к компьютерной программе[34], выпущенном создателями модели, доступным языком объясняется, как настроить систему и ввести в нее данные. Технические термины почти не используются. Документация есть на английском, французском и испанском языках.

Ссылки на источники

1 *Quaix H.* Policy Analysis Division. FAO. February 18, 1976.

2 Цель исследования лучше всего изложена в первом отчете по модели LTSM, который написал Бела Мартос: *Martos B.* Long-Term Employment Simulation Model. PA4/1 INT/73/PO2, Working Paper Series No. 1, Policy Analysis Division, FAO, Rome, май 1974 г.

3 Там же, с. 2.

4 Ранее упомянутый источник: *Quaix H.*

5 *Martos B., Lin Wuu-Long.* Long-term Socio-economic Country Simulation. FAO **Long-Term Employment Simulation Project PA4/1 INT/73/PO2 Working** Paper Series No. 6. Работа была представлена на конгрессе общества эконометристов и вошла в его материалы: Third World Congress of the Econometric Society, Toronto, August 1975. Development Research and Training Service, Policy Analysis Division, FAO, Rome, с. 2—3, май 1975 г.

6 Ранее упомянутый источник: *Martos B.*, с. 4.

7 Там же, с. 4.

[8] Там же, с. 8.

[9] Там же, с. 7.

[10] Там же, с. 3.

[11] Там же, с. 14.

[12] Там же, с. 17.

[13] *Lin Wuu-Long*. **A System Simulation Approach to Economic-Demographic** Interaction. FAO Long-Term Employment Simulation Project PA4/1 INT/73/PO2 **Working Paper Series No. 2. Development Research and Training** Service, Policy Analysis Division, FAO, Rome, с. 29, сентябрь 1971 г.

[14] *Lin Wuu-Long*, *Ottaviani-Carra M.G.* **A Systems Simulation Approach to Integrated** Population and Economic Planning. FAO Long-Term Employment Simulation Project PA4/1 INT/73/PO2 Working Paper Series No. 7, FAO, Development Research & Training Service, Policy Analysis Division, Rome, с. 75, август 1975 г.

[15] **A Systems Simulation Approach to Integrated Population and Economic Planning** with Special Emphasis on Agricultural Development and Employment: an **Experimental Study of Pakistan. FAO/Pakistan Project on System Simulation**, рабочий документ PA4/1 INT/73/PO2 Working Paper Series No. 11, FAO, Rome, март 1976 г.

[16] Ранее упомянутый источник: *Lin Wuu-Long*, *Ottaviani-Carra M.G.*, с. 44.

[17] Там же, с. 44.

[18] Там же, с. 44.

[19] Ранее упомянутый источник: A Systems Simulation Approach to Integrated Population and Economic Planning with Special Emphasis on Agricultural Development and Employment: An Experimental Study of Pakistan, с. 48.

[20] Ранее упомянутый источник: *Lin Wuu-Long*, *Ottaviani-Carra M.G.*, с. 48.

[21] Там же, с. 49.

[22] Таблица воспроизводится с разрешения: *Lin Wuu-Long*, *Ottaviani-**Carra** M.G.*, ранее упомянутый источник, с. 51.

[23] Ранее упомянутый источник: *Lin Wuu-Long*, *Ottaviani-Carra M.G.*, с. 73.

[24] Там же, с. 72.

[25] Ранее упомянутый источник: A Systems Simulation Approach to Integrated Population and Economic Planning with Special Emphasis on Agricultural Development and Employment: An Experimental Study of Pakistan. С. 74.

[26] *Ottaviani-Carra M.G.*, информация получена в частной беседе.

[27] Ранее упомянутый источник: *Martos B.*, *Lin Wuu-Long*, с. 11.

[28] **Краткие описания и комментарии от разработчиков других моделей** приведены в отчете: **Report on the FAO/UNFPA Seminar on Methodology, Research**, and Country Case Studies on Population, Employment and Productivity. FAO/UN/TF154, FAO, Rome, 1975.

[29] Ранее упомянутый источник: *Martos B.*, с. 30.

[30] Там же, с. 12.

[31] Там же, с. 13.

[32] Там же, с. 43.

[33] Ранее упомянутый источник: *Martos B.*, *Lin Wuu-Long*, с. 27—28.

[34] Ранее упомянутый источник: *Lin Wuu-Long*, *Ottaviani-Carra M.G.*, с. 89—90, приложение II.

9
ГЛАВА

BACHUE: робот-сороконожка

9.1. Организационные вопросы

Модель BACHUE — очередной аргумент в нескончаемом политическом споре о влиянии численности населения на экономическое развитие. Одна сторона говорит, что рост населения — серьезная преграда для экономического развития, и для того, чтобы оно стало возможным, необходимо уменьшать рождаемость. Другая сторона выступает категорически против и говорит, что нужно учитывать положительное влияние от увеличения численности на экономический спрос и доступность рабочей силы. Сторонники такой точки зрения отмечают также, что причина высокой рождаемости — бедность, поэтому сначала надо справиться с нищетой. Наконец, попытки ограничить численность часто связывают с представлением богатых о том, что бедные слои населения необразованны и заводят столько детей по недомыслию. И это только увеличивает пропасть между обеспеченными классами и теми, кто считает, что бедные не могут выбраться из нищеты потому, что богатые их нещадно эксплуатируют и отказывают им в праве на лучшую долю.

В распоряжении тех, кто выступает за уменьшение рождаемости, есть ряд хорошо проработанных математических моделей, подтверждающих их позицию. Одна из таких моделей — TEMPO — уже рассмотрена в этой книге. Другая модель из той же серии — предшественница TEMPO, система Коула-Гувера[1]. До начала 1970-х годов противники ограничения рождаемости не разрабатывали четких численных моделей. В то время им нечего было противопоставить системе TEMPO и другим программам, основанным на численном анализе. Возникла настоятельная потребность в математическом описании идей, которые могли бы предложить альтернативу моделям вроде TEMPO.

В каком-то смысле такой альтернативой была система LTSM, которую разработала FAO. Заодно она позволила понять, что сельское хозяйство не менее важно для планирования развития, чем промышленность. Практически одновременно с LTSM появилась и разработка

Международной организации труда ООН (International **Labour Organization, ILO). Ричард Бленди, в то время глава проекта, посвященного** численности населения и занятости, решил построить более сложную экономико-демографическую модель, чем все предшествующие. Бленди с коллегой, Рене Вери, создали первичную модель и назвали ее **BACHUE в честь колумбийской богини любви, плодородия и гармо**нии между человеком и природой.

Модель создавалась в дружественной обстановке, без какого-либо давления или ограничивающих факторов. Инициатор и глава проекта — одно и то же лицо, руководство исследованием основано на личной заинтересованности, а не на бюрократии, сроки назначаются свободно, управление проектом осуществляется гибко, группа разработчиков пользуется большой свободой. За 5 лет существования проекта, посвященного численности населения и занятости, группа разработчиков BACHUE изменилась: вместо двух человек, отдававших проекту свободное от других дел время, им стали постоянно заниматься три выделенных специалиста по моделированию[2] плюс группа поддержки, что позволило создать полноценный инструмент для выработки и проверки стратегий.

9.2. Цели

Исходной целью проекта **BACHUE было разработать модель в проти**вовес системам Коула-Гувера и системам того же типа, что и Энке-**TEMPO**[3]. В модель BACHUE включались дополнительные факторы, которые многие специалисты считали важными для экономико-демографических процессов: распределение доходов, занятость, обратная связь между социальными условиями и демографическими подвижками, а также влияние роста численности на экономический рост — не только отрицательное, но и положительное. Начальная задача модели была частично научная, частично обучающая — требовалось собрать вместе различные теории о социальных изменениях в ходе экономического развития, особенно те, которые, по мнению разработчиков, раньше упускались из виду.

По мере работы над моделью **BACHUE ее цели расширялись. Пер**вый прототип превратился во множество вариантов, адаптированных к условиям разных стран, и, что неудивительно, выступал противовесом модели **TEMPO. Разработчики установили контакты с заинтересован**ными учеными и политиками, сначала на Филиппинах, затем в других странах. Теории и проблемы, приложимые к некоторым государствам, вошли в расширенную модель BACHUE-2. Надежды разработчиков на создание общего инструмента для планирования стали понемногу сбываться, и цели теперь формулировались шире: разработка страте-

гий, влияющих на размер и распределение населения, оценка программ занятости и факторов, которые могут изменить распределение доходов в долговременной перспективе, последствий экономических изменений в росте, распределении и структуре населения, а также изучение влияния демографических изменений на экономическое развитие[4].

Как и следовало ожидать, модель, попытавшаяся вобрать в себя всевозможные социально-экономические теории, неимоверно разрослась. Но некоторые вопросы индустриализации, особенно интересовавшие разработчиков, оказались описаны внимательно и подробно. И здесь представляет интерес одно признание, которое редко встретишь в других описаниях.

> Предмет нашего исследования... — численность населения, занятость и распределение доходов, а не население и развитие как общие понятия. Частично в этом заложено самоограничение, попытка сузить область исследования... Однако такой подход подчеркивает, насколько важным мы считаем предмет изучения... В нашей работе заложена склонность к обеспечению высокой, производительной занятости, более справедливому распределению доходов и благ и избавлению от нищеты — это главные цели развития. С ними связаны также уважение и признание прав человека и семьи... Хотя подобная склонность не оригинальна и вряд ли вызовет возражения, мы считаем необходимым открыто заявить о ней, поскольку она, безусловно, влияет на содержание и восприятие нашей работы[5].

9.3. Методы

Модель **BACHUE рассчитана на среднюю и долговременную перспективу**, ее первый прогон включал период до 2000 г. В своей основе это имитационная модель, однако разработчики не ограничивали себя требованиями одной школы моделирования. Цитаты, приведенные в документации на систему BACHUE, подтверждают, что ее создатели изучали системно-динамические модели[6]. Им пришлось разбираться в очень сложных обратных связях мысленных моделей, и оказать помощь в этом никто не мог. При этом наибольшую ценность для создателей модели представляла именно система как целое, а не отдельные ее зависимости. Разработчики постарались сделать практически все важные переменные модели внутренними, в особенности те, что описывали демографические факторы (в модели **TEMPO они были внешними**). Создатели BACHUE исповедовали системно-динамический взгляд на мир как систему, подверженную постоянным изменениям, замкнутую, изобилующую запаздываниями в откликах[7].

Однако при этом они считали, что системно-динамические модели используют слишком обобщенный подход. В системе BACHUE особое

внимание уделялось распределению экономических показателей и решениям на уровне отдельных людей и частных хозяйств. Такая подробность была ключевой для понимания связи между экономическим развитием и ростом численности населения. Вместо сводных показателей в модели используются массивы переменных: население разбито на 152 группы по возрасту, полу, месту проживания и уровню образования. Экономика представлена матрицей межотраслевого баланса, в которой учтено 13 секторов производства. Выпуск продукции распределяется на 40 групп населения и работников. Взаимосвязи этих групп в системе характеризуются 750 дополнительными внутренними переменными для демографического сектора модели и 1000 переменных для экономического[8].

Еще один важный аспект состоит в том, что разработчики везде, где это возможно, использовали статистические методы для определения параметров. Модель BACHUE-2, построенная для Филиппин (в 1979 г. документация была доступна только для нее), использовала статистику и для оценки параметров, и для определения поведенческих связей между переменными. Для этого проанализировали и обработали методами регрессионного анализа огромное количество данных на уровне страны и всего мира. В результате уравнения большей частью получились линейными, и в них включены только непосредственно измеряемые величины. Например, разработчики заявляют, что доходы — не самый подходящий показатель для оценки сбережений потребителей, но поскольку только они были доступны для непосредственного измерения, именно их включили в состав модели[9].

При этом сказать, что создатели системы зациклились на статистических методах, нельзя. Если данные не были доступны (например, для ценовой эластичности спроса, для приращения капитала на единицу продукции, в других случаях), выбиралось наилучшее предполагаемое значение, сводившее к минимуму противоречия. В тех случаях, когда разработчики считали, что выявленная статистическим анализом зависимость уже изменилась, результаты обработки не принимались в расчет. Например, данные филиппинской статистики не показывали связи между снижением рождаемости и увеличением уровня образования или качества жизни. Однако по международным данным такая зависимость прослеживалась четко, и на этом основании она была включена в модель.

Сочетание методов системной динамики и характерных для нее замкнутых обратных связей, подробных таблиц «затраты-выпуск» и матриц из межотраслевого баланса, а также статистических методов из эконометрики привело к тому, что система BACHUE представляет собой уникальную модель, построенную на стыке парадигм. Заимствованные методы тщательно подгонялись друг к другу, чтобы использовать их сильные стороны и избежать ловушек, характерных для каж-

дой отдельной школы моделирования. На этом пути разработчики столкнулись с рядом трудностей. Сочетание статистических методов и многочисленных параметров привело в тому, что резко возросли требования к данным. Попытки определить параметры в замкнутой структуре обратных связей нарушали некоторые базовые положения регрессионного анализа (например, об отсутствии коллинеарностей). Применение линейных зависимостей противоречило основным принципам системной динамики. Детальность и обилие подробностей в замкнутой модели породили настолько сложную структуру, что модель фактически представляет собой «черный ящик», а не средство по достижению интуитивного понимания.

9.4. Границы

Модель BACHUE содержит три подсистемы: население, экономика, распределение доходов. Для каждой используется огромное количество переменных, как внешних, так и внутренних. Границы модели иллюстрирует рис. 9.1.

Население в модели BACHUE разбито на половозрастные группы с интервалом 5 лет, делится на городское и сельское; учитывается также уровень образования. Количество браков, рождаемость, смертность, миграция относятся к каждой группе в отдельности. Скорость получения образования вводится как внешняя переменная, которую можно менять для выбора лучшей стратегии. Внутренние переменные, описывающие рождаемость, можно менять на внешние, чтобы проверять действенность программ планирования семьи. Скорости миграции также можно изменять, если модель предполагает, что перемещение населения будет ограничено. В демографическую подсистему в явном виде не включены многие параметры: желаемый размер семьи, представление о роли детей в экономическом положении семьи, положение женщин, питание, санитарные нормы, дискриминация по половому признаку и другие явления — их довольно сложно оценить численно. Однако во многих случаях они неявно присутствуют в структуре и взаимосвязях системы. Например, образование существенно влияет на возраст вступления в брак, рождаемость, миграцию. Точно так же доходы и их распределение косвенным образом определяют санитарные нормы и, следовательно, влияют на уровень смертности.

Экономическая подсистема BACHUE содержит 13 секторов производства, разбитых на промышленную и традиционную отрасли; предусмотрено три варианта местоположения — городское, сельское, промежуточное (см. табл. 9.1). Для всех секторов, за исключением сельского хозяйства, в модели заданы внешние переменные, харак-

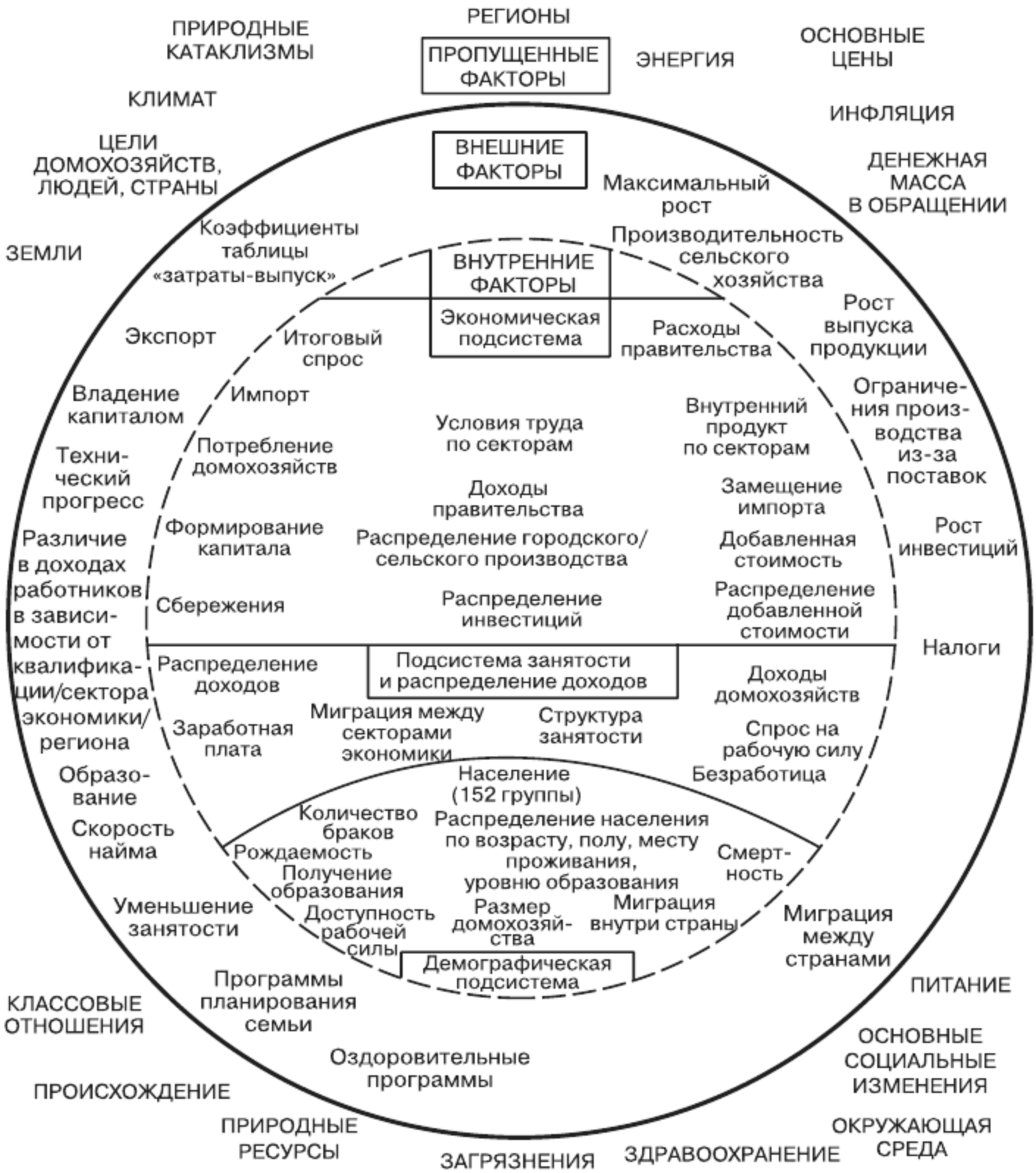


Рис. 9.1. Границы модели BACHUE

теризующие частные инвестиции, замещение импорта, требования к затратам на единицу выпускаемой продукции, эластичность спроса по доходу, ценовую эластичность спроса. Технические коэффициенты, связывающие затраты и выпуск, остаются неизменными. Внешнее ограничение наложено на рост производительности в сельском хозяйстве, а также на рост совокупного выпуска в условиях дефицита платежного баланса.

Через все внешние параметры и информацию о демографической подсистеме, о структуре распределения доходов и экономической подсистеме модель рассчитывает спрос потребителей по секторам, итого-

Таблица 9.1

Секторы производства модели BACHUE-2

Местоположение	Современные отрасли	Традиционные отрасли
Городское	Горнодобывающая Производство потребительских товаров (легкая промышленность) Другие производства Услуги и оптовая торговля Правительство	
Промежуточное	Строительство Транспорт и коммунальное хозяйство	Производство традиционных товаров Традиционные услуги и розничная торговля
Сельское	Экспорт зерновых Лесопользование	Местные продовольственные культуры Скотоводство и рыболовство

вый спрос, совокупный выпуск и добавленную стоимость. Только одна из всех цен рассчитывается как внутренний параметр: относительный ценовой показатель сельской продукции в сравнении с городской.

Экономическая подсистема определяется в основном спросом и внешними факторами. Если учесть, что разработчики стремились замкнуть экономико-демографические петли обратных связей, внешнее представление столь важных экономических переменных, как инвестиции и суммарный выпуск, вызывает удивление. Создатели модели обосновывают это четырьмя соображениями[10]: реалистичное отображение выпуска заставило бы детальнейшим образом прописать в системе все цены; демографические изменения оказывают существенное влияние на характер спроса, и это надо учитывать; взаимосвязь демографических факторов и роста выпуска неоднозначна, особенно с учетом доступности ресурсов, скорости технического прогресса и других факторов, что потребовало бы отдельного исследования; заложенные в государственные планы объемы выпуска и цели производства уже сами по себе представляют интерес для анализа, их можно включать в модель для оценки и выбора стратегий.

В модели не фигурируют доступность ресурсов, использование земель, состояние окружающей среды, рыночные показатели и ограничения поставок, вытекающие из пределов по рабочей силе и капиталу. Пропущены социально-политические и организационные факторы, определяющие экономическое поведение (экономические цели, отношение к риску, факторы неопределенности и т. д.). Нет и переменных, описывающих состояние финансового сектора: инфляции, курсов обмена валют, структур кредитования и т. п.

9.5. Структура

Представьте себе, какие проблемы поджидают инженера, который вознамерился сконструировать робота-сороконожку, чтобы тот мог станцевать первую партию в «Лебедином озере». Первая сложность — слишком большое количество частей в роботе. Он будет очень неуклюжим. Как ему двигаться, чтобы не запутаться в собственных ногах? Как добиться, чтобы положение каждой ноги не вступало в противоречие с положением всех остальных и чтобы вместе они позволяли роботу двигаться в определенном направлении и с определенной скоростью? Даже если инженер справится с этими проблемами, возникнет другая: как научить робота управлять этими 40 ногами так, чтобы он мог технично исполнить балетный танец, не говоря уж об изяществе?

Точно такие же проблемы создали себе разработчики модели BACHUE, когда решили построить предельно детализированную модель с петлями обратных связей. Замкнутая модель с обратными связями — тот самый робот-сороконожка, только вместо конечностей используются цифры. Чем их больше, тем сложнее скоординировать поведение, и в какой-то момент увеличение количества «ног» делает согласованную работу невозможной. В каком-то смысле сделать робота даже проще, чем отладить модель типа BACHUE, — с ним, по крайней мере, можно быть уверенным, что в каждой конечности берцовые кости соединяются с бедренными в коленном суставе. Если же у вас 152 группы населения, то трудно даже установить, какие переменные связаны между собой, не говоря уж о том, чтобы понять, какие силы контролируют работу системы и не была ли какая-нибудь из них упущена из рассмотрения.

Как уже говорилось, в структуре модели BACHUE три основных подсистемы: демографическая, экономическая и распределение доходов. Демографическая система использует деление на шесть возрастных групп; в расчете численности участвуют текущие значения рождаемости и смертности, на которые в свою очередь влияют другие факторы — например, распределение населения по месту проживания и уровень образования. Учитывается и миграция. На рождаемость влияет два принципиальных показателя: возраст женщин, вступающих в брак (он зависит от уровня образования и занятости и может меняться от 15 до 29 лет), а также зависимость фертильности от возраста. Смертность в модели зависит от уровня доходов и их распределения. Связь нелинейна; с ростом доходов и увеличением равномерности в их распределении смертность становится все ниже.

Экономическая подсистема представляется мало привязанной к процессам, происходящим в реальном мире, и скорее напоминает бухгалтерские выкладки. Принципиальная последовательность такова:

1. Расчет итогового спроса.

2. Расчет суммарного производства, необходимого для удовлетворения итогового спроса.
3. Подгонка значений внешних переменных, характеризующих ограничения для экономического роста, и расчет долей спроса, удовлетворенных за счет импорта и внутреннего производства.
4. Расчет элементов модели, зависящих от производства (накопления капитала, налогов, платежного баланса).

Основные элементы подсистемы показаны на рис. 9.2. В расчетах фигурирует большое количество постоянных коэффициентов, их наборы забраны в двойные рамки.

Один из самых важных сегментов **BACHUE — потребление домохозяйств**. Именно оно участвует в ключевых обратных связях модели, причем рассчитываются эти параметры отдельно для городского и сельского населения, по отдельным группам доходов. Форма уравнения для всех групп одинакова, но коэффициенты разные. Поведение одного из вариантов модели полностью определяется спросом — в нем предполагается, что внутренняя продукция автоматически равна суммарному спросу, рассчитанному по матрице «затраты-выпуск». В более распространенной версии, разработанной для Филиппин, предусмотрен предел, задающий максимальную скорость роста для внутренней продукции, — 7% в год. Рост производительности труда в сельском хозяйстве ограничен 3% в год, но при этом интуитивно понять, от чего он зависит и каким будет, практически невозможно, поскольку этот параметр включен в очень сложную сеть обратных связей.

Экономическая подсистема очень сильно отличается от демографической. Население описывалось с помощью 152 переменных состояния, объединенных в четкую последовательность на основе биологических законов. В отличие от демографической подсистемы экономическая не отражает реальные потоки ресурсов и сырья, не учитывает этапы их хранения и обработки вплоть до момента, когда они превращаются в товары, не принимает во внимание решения, управляющие этими потоками, и информацию, лежащую в основе этих решений. Весь сектор описывается внешними параметрами, и логика основана только на математических выкладках, подогнанных так, чтобы итоговый результат в целом всегда оказывался правильным, даже если промежуточные этапы вычислений не соотносятся ни с какими процессами в реальной жизни. И если в демографической системе можно считать, что коэффициенты принимают приблизительно одни и те же значения, то в экономике они должны меняться по ходу развития, а не быть постоянными. Разработчики с сожалением признают, что были вынуждены сделать их неизменными, поскольку просто не смогли получить достаточно данных, чтобы представить их полноценными переменными, и не захотели чрезмерно усложнять модель.

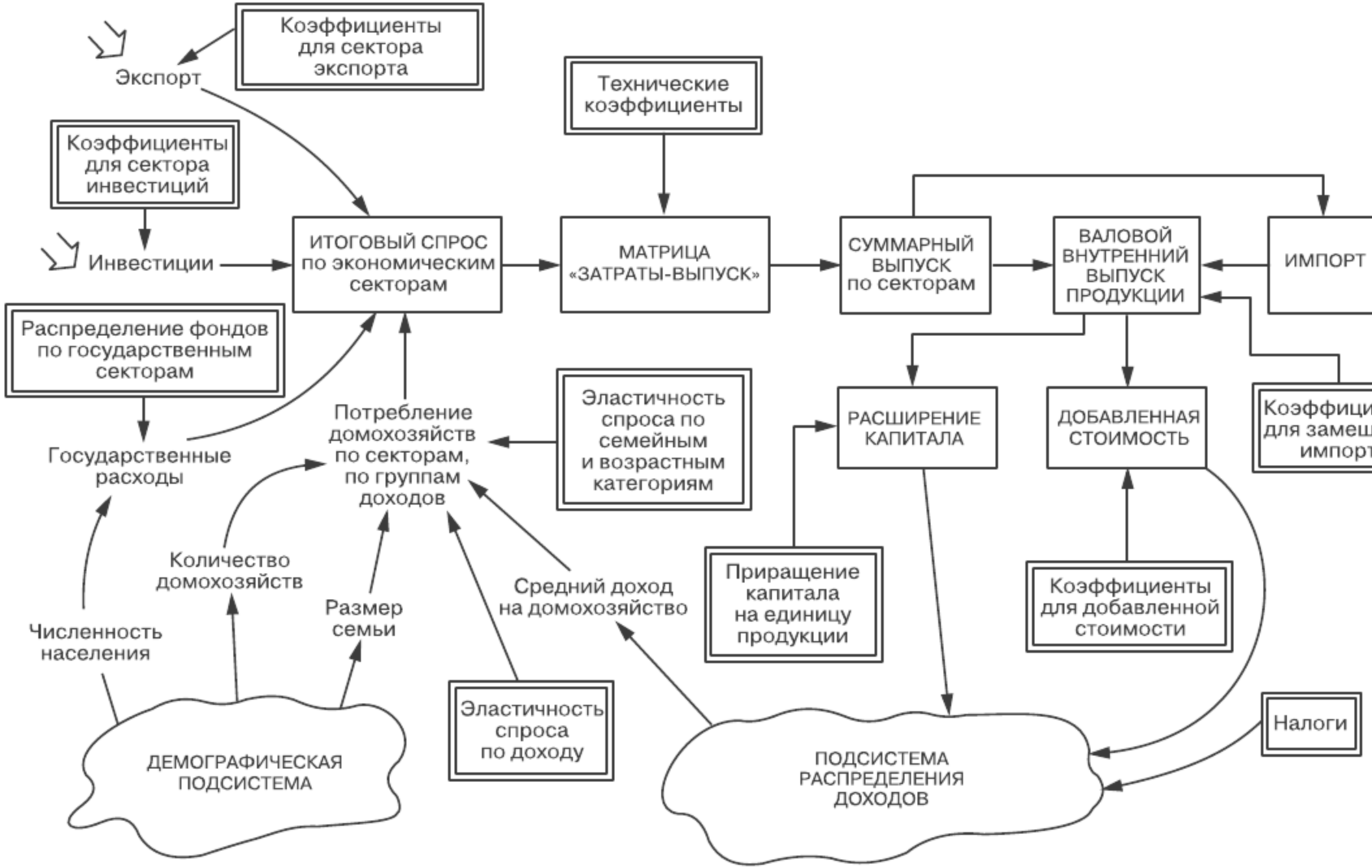


Рис. 9.2. Экономический сектор модели BACHUE

Основополагающее описание экономического сектора в модели BACHUE принципиально отличается от представлений систем LTSM и **TEMPO. Если в предыдущих моделях производство зависело от капитала**, а численность населения приводила к его уменьшению, поскольку отвлекала продукцию от реинвестирования, то в BACHUE производство напрямую зависит от спроса и не ограничено никакими факторами. В этой модели более быстрый рост численности населения, ведущий к увеличению потребления, стимулирует экономический рост за счет высокого спроса, а не замедляет его. Инвестиции — внешний параметр, и на них численность населения тоже не влияет. Единственный фактор в модели, который может тормозить экономическую систему, — неравенство в распределении доходов, приводящее к тому, что часть населения не может потреблять, создавать спрос и тем самым стимулировать экономику.

Проанализировав общее строение системы BACHUE, мы построили структуру для сравнения, в которую вошли три основные подсистемы: население, экономика и распределение доходов. Эта структура показана на рис. 9.3. Еще раз отметим, что поведением модели практически полностью управляет спрос. Ни капитал, ни рабочая сила, ни доступность ресурсов не ограничивают производство, хотя и существует внешняя переменная, представляющая собой максимально возможный рост. На спрос влияют доходы и общая демографическая структура населения.

Таковы основные связи в модели **BACHUE. Их более полное описание** будет слишком длинным и запутанным, поскольку структура модели очень сложна. При этом принципиально важно понимать, что петли обратной связи, бывшие положительными в одной ситуации под влиянием определенных условий, в других обстоятельствах вполне могут превратиться в отрицательные циклы. Например, растущие доходы могут увеличить потребление на современных промышленных производствах, но привести к уменьшению потребления в секторе традиционных ремесел. Это можно отразить следующей диаграммой.



Подобный переменчивый характер связей в модели **BACHUE де**лает полный анализ структуры невыполнимой задачей. Максимум, на что можно рассчитывать, — уловить поведение модели в общих чертах, делая прогоны один за одним и оценивая результаты. Возможно, разработчики из ILO обладают неким «общим ощущением»

о поведении модели, но его нельзя оценить логически или проверить, и совершенно не факт, что оно позволяет делать правильные выводы о том, как ведет себя модель и почему.

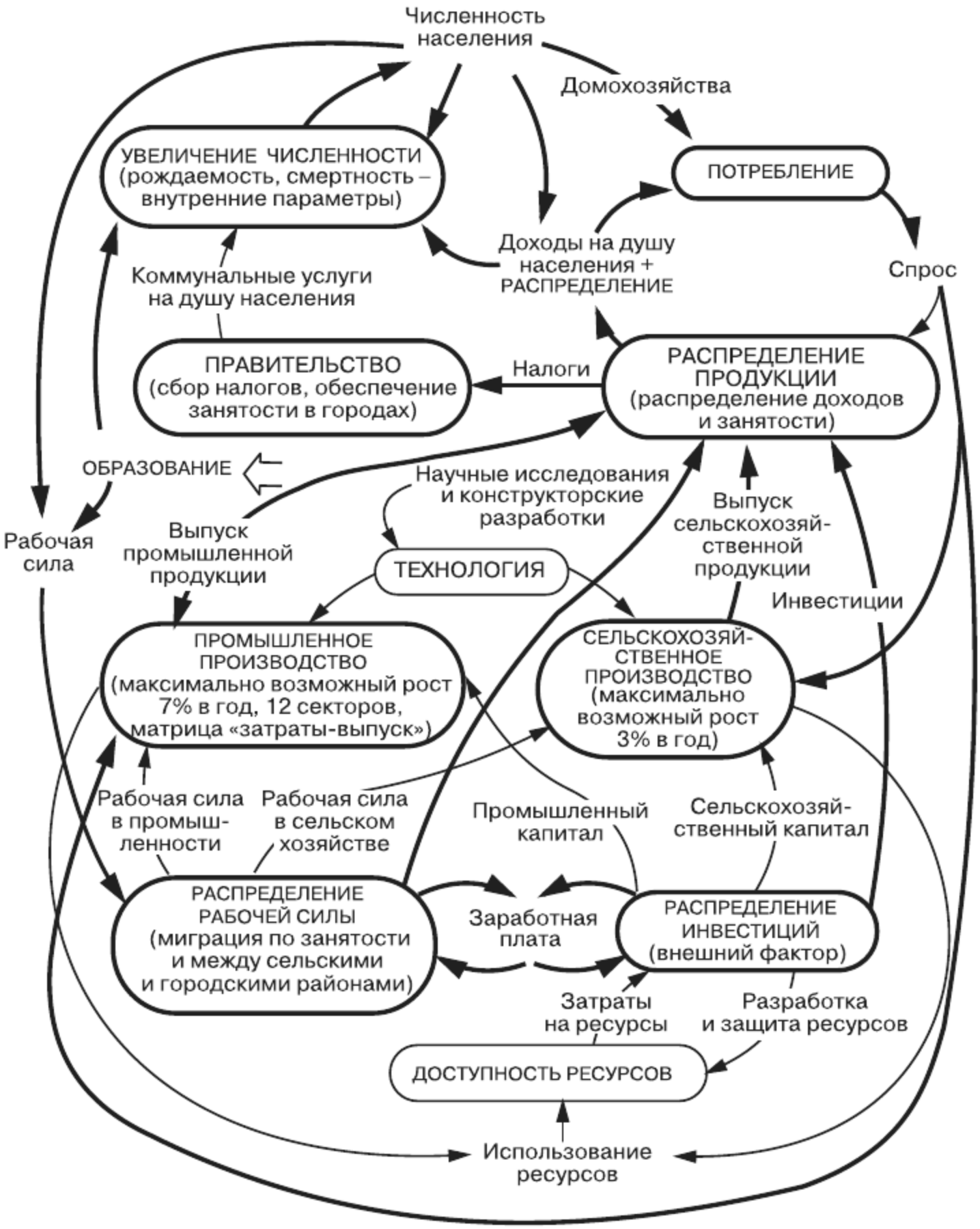


Рис. 9.3. Структура для сравнения, построенная для модели **BACHUE. Элементы, взятые в толстые рамки, и связи, отмеченные жирными стрелками, включены в модель. Остальные элементы и связи в модели отсутствуют и показаны для сопоставления**

9.6. Данные

Модель BACHUE создавалась в условиях изобилия данных, ведь эта разработка была частью проекта Международной организации труда ООН. В него вошло более 60 исследований различных экономико-демографических связей, многие из которых пересекались с интересами BACHUE. В результате разработчикам были доступны самые разнообразные данные.

Все источники информации для модели перечислены в документации. Основу матрицы «затраты-выпуск» составили данные из таблицы по 194 секторам, разработанной на 1965 г. для экономики Филиппин Национальным экономическим советом. Данные по рабочей силе получены из Национального демографического обзора за 1968 г. Статистику о вступлении в брак и миграции предоставил Институт населения при Университете Филиппин. Использовались и другие источники, в том числе обзоры и местная статистика о домохозяйствах, налогах, данные о внешней торговле и образовании.

Сами разработчики характеризуют источники информации как «многочисленные, но фрагментарные»[11] и отмечают, что они не содержали данных за продолжительные периоды. По этой причине каждый раз, когда не хватало собственных филиппинских данных, приходилось прибегать к заимствованию из других отраслей и даже других стран. Когда данных по важным параметрам не было совсем (например, по безработице), разработчики задавали значения по своему усмотрению. Если результаты, полученные статистическими методами, не вписывались в общую картину, то создатели модели изменяли их в соответствии со своими представлениями. Однако в тех случаях, когда это было возможно, параметры действительно определялись на основе статистики, а в большинстве случаев, когда она была недоступна, соответствующие связи старались из модели исключить.

9.7. Тестирование

Тестирование модели, подобной **BACHUE, — одновременно очень ин**тересная и очень неблагодарная задача, потому что в ней слишком много всего нужно проверять. Для огромного количества параметров надо исследовать чувствительность. Для колоссального массива внешних переменных нужно изучить их изменение со временем. Детальная проверка всего, что подлежало тестированию, потребовала бы неимоверных усилий.

Для тех, кто будет проводить проверку, разработчики специально создали интерактивную версию модели на основе компьютерной сис-

темы. Она подсказывает пользователю, как попробовать те или иные варианты тестов.

Модель подвергалась самому разному тестированию. Разработчики заявили, что достоверность модели *доказать* все равно никакими методами нельзя, но зато можно ввести ряд критериев, соответствие которым повысит уверенность в том, что модель ведет себя адекватно. Вот эти критерии.

1. Внутренняя непротиворечивость.
2. Качество базы данных.
3. Приемлемые процедуры оценки.
4. Чувствительность к изменению параметров (должна соответствовать чувствительности реальной системы).
5. Согласованность с данными, накопленными за прошлые периоды.
6. Общее правдоподобие в поведении системы[12].

Сами разработчики оценили внутреннюю непротиворечивость как хорошую; базу данных как фрагментарную, но не уступающую по качеству другим моделям; процедуры оценки (обычно метод наименьших квадратов, но также и догадки) как нестрогие, но приемлемые и соответствующие уровню базы данных. А вот подход к оценке чувствительности был избран совершенно нетипичный. Сначала разработчики создали матрицу 27×27, которая описывала перекрестные взаимодействия. В ней каждый элемент a_{ij} отображает оценку трех специалистов-разработчиков: насколько, по их мнению, изменение переменной j объясняется изменением переменной i (зависимость между ними предполагается линейной). Фактически основа такой оценки создавалась из личных интуитивных ощущений разработчиков, полученных в ходе работы с моделью. Затем матрицу довели до n-го порядка, просуммировали строки и столбцы, чтобы получить сводные данные о взаимосвязях каждой переменной на период времени n. Анализ показал, что самыми весомыми показателями, оказывающими влияние на наибольшее количество других параметров, были рождаемость, скорость миграции и внешние переменные. Распределение доходов и занятость оказывали относительно слабое воздействие на другие значения.

Фактически вся процедура такого анализа основывалась исключительно на догадках разработчиков о парных связях между переменными. Полный перебор всех возможных парных сочетаний занял бы слишком много времени, но все-таки стоило выяснить хотя бы, какое влияние оказывает на систему изменение каждой переменной в отдельности.

Проведенные проверки чувствительности к изменению структуры показали, что модель **BACHUE сильно реагирует на них, но так происходит** с большинством систем. Выбор той, а не иной структуры создатели модели обосновывали «общепризнанным экономическим здравым смыслом», попутно отмечая, что любая измененная структура все равно будет слишком простой в сравнении с реальной системой[13].

Группа разработчиков **BACHUE не считала полезной проверку со**ответствия между расчетными и фактическими данными за краткосрочный период, поскольку модель создавалась как долгосрочная. Тем не менее был выполнен прогон с 1965 по 1975 г. Как и ожидалось, краткосрочные всплески и падения модель не воспроизвела (она создавалась не для этого), но тенденции изменений социально-экономической системы Филиппин за 10-летний срок в целом модель отразила.

Последним был тест на общую способность модели воспроизводить поведение системы в долговременной перспективе. Считать результаты, полученные для Филиппин, правдоподобными или нет, зависит от личной позиции читателя, от того, насколько отличающимся от прошлого он представляет себе будущее. Придет ли в полный упадок мировая торговля, станет ли реальностью энергетика на основе термоядерного синтеза, разразится ли атомная война или все страны смогут договориться и сообща бережно использовать все, что есть на земном шаре? Модель **BACHUE полагает, что неприятные сюрпризы и собы**тия не произойдут, поэтому она выдает результаты, которые можно считать правдоподобными: экономика Филиппин развивается в сторону промышленности и постепенно идет по типичным кривым роста.

9.8. Выводы

«Основной» сценарий модели, рассчитанный исходя из продолжения текущих тенденций при ограничении суммарного роста экономики на уровне не более 7%, прогнозирует для Филиппин быстрое экономическое развитие. К 2000 г. страна должна достичь уровня Испании или Греции (или, что то же самое, уровня Японии 1960-х гг.). Население должно удвоиться и далее расти со скоростью порядка 2% в год. Городские и промышленные секторы развиваются быстрее всего, однако возрастающий спрос на продовольствие улучшает условия торговли в сельском хозяйстве. Безработица падает, несколько уменьшается неравенство в распределении доходов, однако 20% беднейшего населения по-прежнему имеют доходы ниже средних, рассчитанных для Филиппин в 1965 г.[14]

Проверяя различные стратегии, разработчики BACHUE пришли к нескольким принципиальным выводам. Во-первых, изменить распределение доходов довольно сложно — на эту часть системы прак-

тически не влияют любые предлагаемые стратегии. Создатели модели заключили, что избавиться от нищеты обычными политическими средствами нельзя. Во-вторых, демографические подвижки в ответ на экономические изменения могут быть разными, но имеют большое значение — не меньшее, чем изменения в экономике в ответ на положение в демографической сфере, и эту взаимосвязь упускать из рассмотрения нельзя[15]. Разработчики сочли, что на фертильность влияют различные экономические меры, хотя и не так сильно, как программы планирования семьи, поэтому в целом замедление роста численности практически не повлияет на уменьшение нищеты (как минимум, на период продолжительностью 25 лет, выбранный для модели). В-третьих, критически важной была признана связь между аграрным сектором и промышленностью, между сельским и городским населением. Торговля, затрагивающая эти участки системы, влияет и на доходы, и на спрос, и на миграцию, и на скорость развития экономики в целом. В-четвертых, регулирование миграции представлялось одним из рычагов для изменения уровня благосостояния, причем рычагом более сильным, чем снижение рождаемости.

Все эти выводы вошли в интересный документ, в котором сопоставляются результаты расчетов **BACHUE и модели корейской экономики**, созданной Ирмой Эйдельман из Всемирного банка[16]. Корейская модель в каком-то смысле представляет собой полную противоположность системе BACHUE: она краткосрочная, сектор населения в ней внешний, инвестиции и выпуск продукции внутренние, компании и домохозяйства оптимизируют свою экономическую деятельность, в модель включена монетарная система. Несмотря на такие различия и разницу в экономическом положении Кореи и Филиппин, выводы в этой модели практически полностью соответствуют заключениям создателей BACHUE.

Если взглянуть на положение дел шире, то все выводы по системе BACHUE основаны на внутренней убежденности ее разработчиков в том, что предшествующая модель TEMPO неверно представляет взаимосвязи экономического и демографического секторов. Из этого представления вытекает все остальное. Те связи, что отсутствовали в TEMPO, в BACHUE делают ключевыми. Разработчики считали их важными, включили в модель, они стали определять поведение системы и тем самым подтвердили, что они действительно важны. И наоборот, те зависимости, что считались ключевыми в TEMPO, в модели BACHUE ослаблены и не оказывают существенного влияния. Так, разработчики прямо заявляют:

> «Считается, что образовательные изменения имеют большое значение, однако в конце XX века оно не так уж велико. Возможно, потому, что средний уровень образования среди населения увеличивается слишком медленно относительно изменений в системе образования»[17].

Мы уже отмечали, что модель BACHUE слишком сложна, чтобы в ней можно было полностью разобраться. Такая запутанность не позволяет установить, какие из начальных предположений, заложенных в модель, определяют ее поведение, поэтому им сложно дать оценку. Но даже при отсутствии подтверждений о достоверности модели ее можно считать полезным инструментом для того, чтобы окинуть свежим взглядом положение дел и сформулировать новые вопросы о поведении сложных социальных систем.

9.9. Реализация

Прототип модели BACHUE-Филиппины разработали в надежде, что сначала ее использование для планирования одобрят на Филиппинах, а затем и другие страны закажут разработку локализованных систем. В 1980 г. филиппинская версия **BACHUE-2 была представлена** властям страны, управляющим органам, ответственным за кратко-, средне- и долгосрочное планирование, и ее результаты повлияли на программы, рассчитанные на продолжительные периоды. Филиппинский министр труда проявил большой интерес к модели. Одновременно многие другие страны заинтересовались системой. В сотрудничестве с правительствами и исследовательскими организациями Бразилии, Югославии и Кении в 1980 г. были созданы версии для этих стран. Затем ILO наняла восемь специалистов в странах Латинской Америки, Ближнего Востока, Африки и Азии, чтобы они занимались поддержкой дальнейших разработок.

Подход создателей **BACHUE изначально был открытым и энергичным**. В 1974 г. работа на Филиппинах началась с того, что группа разработчиков модели провела трехдневный семинар для 50 ключевых представителей правительства Филиппин и научного сообщества, имеющего отношение к планированию. На семинаре была представлена ранняя модель, подробно объяснены ее положения, проведено обсуждение. Разработчики были открыты для критики и использовали ее для совершенствования модели. Отдельная группа, состоящая из демографов и экономистов, обеспечивала создателям модели компетентную поддержку и давала консультации. Она одновременно выполняла несколько функций: служила своеобразным контролем качества, указывала на слабые места, которые могли бы препятствовать принятию модели, позволяла выйти на связь с нужными специалистами. Собственно, благодаря этой группе затем состоялись проекты в Бразилии и Югославии.

Фактически единственным по-настоящему успешным примером реализации модели была версия BACHUE-Филиппины. Это единственная модель, разработанная не в стране, где ее предполагалось при-

менять, а за ее пределами (группа базировалась в Женеве), и успех превысил ожидания. По этому поводу разработчики заявили: раньше они придерживались мнения о том, что в работах должны участвовать специалисты страны, для которой предназначается модель, однако теперь их мнение изменилось. Наилучших результатов смогут добиться не местные разработчики, руки которых будут связаны текущими правительственными программами, а специалисты из независимых организаций. Но все-таки предпочтительней, чтобы работы проводились в стране, для которой выполняется проект[18].

9.10. Требования к компьютеру

Модель велика по размерам и, в отличие от **TEMPO, ее невозможно** адаптировать к имеющимся средствам и просчитать, например, на калькуляторе. Судя по всему, прогон модели BACHUE занимает не намного меньше времени, чем запуски самых больших программ из нашего обзора (RfF, KASM и CHAC).

9.11. Документирование

Имеющаяся на модель документация в полной мере отражает компромиссы, на которые пошли разработчики при создании системы. Чтобы представить модель заказчикам и тем, кто будет ее использовать, нужно потратить массу времени на организационные вопросы, встречи, презентации, переговоры... Документация на этом этапе обычно не нужна, поэтому ее составление откладывают на потом. Нужно быть очень внимательным, усердным и при этом чрезвычайно талантливым человеком, чтобы разработать модель, представить ее, составить для нее документацию, и чтобы ни одна задача не помешала выполнению других. Разработчики BACHUE постарались выполнить все три пункта, хотя на каждом этапе задача поглощала больше времени, чем ожидалось.

Книга о модели BACHUE была опубликована в 1978 г.[19] Она представляет собой честную попытку рассказать о системе, ее возможностях, лежащих в ее основе предположениях, сделанных заключениях. Адресована она специалистам по планированию, экономистам и демографам, и язык использован соответствующий, хотя при этом сделана попытка не перегружать текст специфической терминологией и не осложнять читателям восприятие.

С учетом сложности самой модели, документация составлена довольно четко. Приводятся результаты статической обработки, указываются причины, по которым приняты или отвергнуты данные вы-

числений. Разработчики искренне старались объяснить суть модели, но передать их внутреннее «ощущение» от поведения системы словами невозможно — чтобы получить его, нужно раз за разом, годами запускать модель и изучать ее результаты. Создатели модели BACHUE, без сомнения, многому научились при выполнении проекта, однако из документации можно почерпнуть лишь малую толику их открытий.

Ссылки на источники

1 *Coale A.J.*, *Hoover E.* Population Growth and Economic Development in Low Income Countries. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1958.

2 *Michael J.D. Hopkins*, *Gerald D. Rodgers*, *Réne Wéry*.

3 *M.J.D. Hopkins*, ILO, информация получена в частной беседе.

4 *Hopkins M.J.D.*, *Rodgers G.B.*, *Wéry R.* Evaluating a Basic Needs Strategy and Population Policies: The BACHUE Approach // International Labor Review. 1976, ноябрь-декабрь. 114 (3).

5 *Rodgers G.B.*, *Hopkins M.J. D.*, *Wéry R.* Economic-Demographic Modeling for Development Planning: BACHUE-Philippines // Population and Employment Working **Paper No. 45, WEP2-21/WP. 45. Geneva: International Labor Or**ganization. 1976. C. I. 7.

6 Там же, с. 3 (черновой вариант).

7 Там же, с. II.1.

8 Там же, с. II.2.

9 Там же, с. IV.23.

10 Там же, с. IV.1, 2.

11 *Adelman I.*, *Hopkins M.J.*, *Robinson S.*, *Rodgers G.B.*, *Wéry R.* The Political Economy of Egalitarian Growth. Geneva: ILO. 1976. C. 15.

12 Ранее упомянутый источник: *Rodgers G.B.*, *Hopkins M.J. D.*, *Wéry R.*, с. VII.1.

13 Там же, с. VII.36.

14 Там же, с. IAS.

15 Там же, с. I.39.

16 Ранее упомянутый источник: *Adelman I.* с коллегами.

17 Ранее упомянутый источник: *Rodgers G.B.*, *Hopkins M.J.D.*, *Wéry R.*, с. I.21—22.

18 *Hopkins M.J. D.*, информация получена из личной беседы, благодаря которой мы имеем подробное представление об использовании модели.

19 *Rodgers G.*, *Hopkins M.J.D.*, *Wéry R.* Population, Employment, and Inequality, BACHUE-Philippines. Westmead, Farnborough, Hants, England: Saxon House, 1978.

10
ГЛАВА

KASM: сборная солянка, а не пюре

10.1. Организационные вопросы

В конце 1960-х гг. подразделение технического обеспечения Агентства США по международному развитию (USAID) решило, что перед тем, как оказывать какой-либо стране помощь, нужно проводить детальный анализ ее экономического положения, по всем секторам. С той поры секторный анализ проводился для большого количества стран, принимающих помощь, и охватывал самые разные отрасли экономики. В исследованиях применялись различные методы — от преимущественно количественных до качественных. В некоторых случаях использовались компьютерные модели.

Работа над имитационной моделью сельского хозяйства Кореи (в первой версии модель называлась KASS, в последующих — KASM, Korean Agricultural Sector Simulation Model) началась в 1971 г. как часть секторного анализа, проведение которого принесло бы пользу и анализируемой стране, и USAID. Модель разрабатывалась на факультете сельскохозяйственной экономики и системных наук Университета штата Мичиган, и это был уже второй секторный анализ, проводимый группой специалистов для USAID.

Первая работа в этой области не использовала компьютерную модель, но представляла собой масштабное исследование сельского хозяйства Нигерии (она обошлась в 35 человеко-лет и 1,5 млн долл.). Трудоемкость работы навела на мысль о том, что для подобных исследований надо применять компьютерные методы, и тогда же появился прототип для описания нигерийского аграрного сектора[1]. Разразившаяся в Нигерии гражданская война не дала продолжить проект, но имеющиеся наработки пригодились для моделирования экономики в Южной Корее. Структура модели в основном была сохранена, за 9 месяцев систему адаптировали к условиям и накопленным данным по Корее[2].

Чтобы работа принесла пользу и принимающей стороне, и USAID, необходимо было обеспечить участие в ней корейских органов планирования. К проекту подключился Национальный исследовательский институт экономики сельского хозяйства (National Agricultural Economics Research Institute, NAERI), работавший под эгидой Министерства сельского хозяйства и рыболовства Кореи. И хотя сначала предполагалось, что исследование будет проводиться на уровне микроэкономики, затем оно было расширено до анализа всей экономики страны. Проект включал в себя три этапа.

1. Разработка имитационной модели.
2. Создание американо-корейской группы планирования, которая располагалась бы в Сеуле и проводила изучение стратегий по модели для Министерства сельского хозяйства и рыболовства Кореи.
3. Проведение для корейских специалистов по планированию тренингов с использованием компьютерной модели (в основном на базе Мичиганского университета)[3].

Корейские и американские специалисты вместе работали над тем, чтобы модель отвечала на вопросы, стоящие перед экономикой Кореи, и чтобы в дальнейшем корейцы могли сами использовать и обновлять модель. Агентство USAID было заинтересовано в этом исследовании, чтобы выявить «узкие места», ограничения и препятствия, сдерживавшие развитие аграрного сектора в Корее, и лучше представлять, по каким направлениям распределять помощь[4]. В первую очередь это было необходимо USAID для того, чтобы убедить Конгресс в правильности расходования средств. Мичиганский университет, помимо того, что хотел выполнить задачу, порученную Агентством, стремился решить и собственные научные задачи, чтобы доказать, что имитационное моделирование — действенный инструмент для разработки стратегий. Для этого предполагалось собрать библиотеку компьютерных программ, которые затем могли бы применяться в аналитических целях любыми другими организациями. К работе подключили более 30 аспирантов. Заодно она обеспечила финансирование и другим проектам на факультете экономики сельского хозяйства в Мичиганском университете[5].

Таким образом, в проекте принимали участие три принципиально разных организации, находящихся в разных точках мира. Обмен информацией происходил в форме регулярных отчетов. Специалисты из Америки и Кореи путешествовали из Сеула в Вашингтон, оттуда в штат Мичиган, потом опять в Сеул. Проект занял пять лет. С 1977 г. вся поддержка и дальнейшее развитие проводились только в Корее.

10.2. Цели

По словам самих разработчиков, они должны были:

1) научиться оценивать последствия третьего пятилетнего плана Кореи на период вплоть до 15 лет, сравнить два варианта этого плана;
2) проанализировать широкий диапазон возможных стратегий будущего развития[6].

Формулировки не слишком четкие. Специалистам из Университета штата Мичиган предстояло самим решить, на чем именно должна сосредоточиться модель. Единственное, что было совершенно ясно, — исследование должно охватывать область сельского хозяйства и иметь временной диапазон продолжительностью 15 лет.

В нашей книге это первая модель, предназначенная не для общего понимания в долговременной перспективе, а для выработки конкретной стратегии. С самого начала проекта создатели модели работали в постоянном контакте с местными специалистами по планированию сельского хозяйства. Вместе они собрали в единый список основные проблемы и вопросы, стоявшие перед Министерством сельского хозяйства, и постарались, чтобы модель смогла ответить практически на все из них. В отличие от моделей, описанных ранее, KASM ориентирована на конечную продукцию. Это инструмент для постоянного использования. Его следует регулярно дорабатывать, а затем снова использовать, еще и еще. Из-за того, что модель ориентирована не на процесс, а на конечную продукцию, ее характеристики довольно специфичны.

10.3. Методы

На факультете экономики сельского хозяйства в Мичиганском университете используют самые разные методы моделирования, потому что каждый из них может привнести в работу что-то свое, и применять их надо к месту. В модели KASM использованы все методы, которые мы обсуждали в этой книге, — системы уравнений, регрессионный анализ, линейное программирование, межотраслевой баланс... Все это включено в состав системы, которая сама по себе представляет динамическую имитационную модель. В структурах предусмотрено запаздывание, использование нелинейных зависимостей, расчет численности населения через возрастные группы и т. д.

Модель разбита на подсистемы; они добавлялись по мере того, как разрасталась структура модели. Каждая подсистема играет свою роль и, как правило, в основном опирается на какую-то одну техно-

логию моделирования. Например, модуль FRESAL, описывающий распределение ресурсов в фермерстве, — линейная программа, определяющая оптимальное использование земель, удобрений и других материальных потоков для разных видов посевов. Модуль национальной экономики NECON, описывающий все отрасли, кроме сельского хозяйства, основан на небольшой таблице «затраты-выпуск» на 16 секторов. Модуль DEMAND, в котором рассчитываются связи между спросом, ценами и торговыми показателями, основан на системе уравнений, решение которых позволяет определить потребление, спрос и цены на сельскохозяйственные и иные виды товаров. Большинство модулей сначала создавались отдельно (этим занимался ответственный специалист или группа), и лишь затем его включали в общую модель KASM. Сведение в одну систему разных модулей — весьма сложная задача, иногда это требовало пересмотра и доработки модулей и используемых в них параметров.

Сочетание различных методов в модели **KASM принципиально отличается** от того, что мы видели в системе BACHUE. Если в BACHUE парадигмы были перемешаны до однородного состояния, своеобразного «пюре» из различных методов и подходов, то KASM представляет собой «сборную солянку», в которой перемешаны кусочки (иногда довольно увесистые) разных продуктов. Такой подход позволил специалистам в разных методах работать по отдельности, каждому над своим фрагментом общей системы, в соответствии со своей профессиональной областью. В итоге модули можно использовать отдельно для детального анализа какого-либо сектора, будь то численность населения, сельскохозяйственная продукция, спрос или другие составляющие[7].

KASM содержит и модули, основанные на динамическом имитационном моделировании (например, представление решений и процессов в сельском хозяйстве Кореи), и модули-«черные ящики», основанные на чисто математическом расчете ради получения результата. Использование двух подходов вместе позволяет глубже изучить проблему и делает модель лучше, чем при использовании каждого метода по отдельности[8].

10.4. Границы

Границы модели довольно широки — она носит междисциплинарный характер и находится на стыке агрономии, социологии, демографии, государственного управления, биохимии, экономики и системного анализа. Данные поступают из самых разных источников, включая официальную статистику, сельскохозяйственные исследования и экспертные мнения[9]. При этом нужно признать, что некоторые важные факторы корейского сельского хозяйства в модели не учтены, поскольк-

ку их было крайне сложно включить в систему. Пропущены такие факторы, как политическая стабильность, распределение доходов, общественные ценности, экологические факторы (эрозия почв, загрязнение, биоразнообразие). Разработчики сосредоточились на тех данных, которые были доступны, — выпуск, прибыль, цены; через них рассчитаны душевые показатели. В описании модели ее создатели говорят о личной свободе, равенстве, качестве воды и воздуха, уровне жизни[10], но не пытаются включить эти факторы в модель даже косвенно.

Использованные в модели переменные описаны очень подробно. Население разбито на 180 групп (с делением по полу, возрасту, городскому или сельскому региону проживания). Сельскохозяйственная продукция делится на 19 категорий, земли и территории — на 4 категории; в модели описаны 12 материальных потоков на входе в сектор сельскохозяйственного производства, предусмотрено 16 секторов национальной экономики.

По мере совершенствования версий модели границы между внутренними и внешними переменными постоянно смещаются наружу. В первой модели **KASS (см. внутренний круг на рис. 10.1) преобладали** внешние переменные, все данные были разбиты на серии значений, задаваемых извне[11]. В модели KASM многие внешние переменные стали внутренними, хотя несколько важных параметров, в реальной системе носящих безусловно внутренний характер, все-таки остались внешними. В основном это касается рождаемости и смертности, производительности труда и зависимостей «затраты-выпуск».

10.5. Структура

Правильнее называть **KASM не моделью, а системой из шести моделей**[12]. Их можно использовать по отдельности, вместе же они имитируют чрезвычайно сложное корейское сельское хозяйство. Каждая такая подсистема по размерам соответствует целой модели из тех, что были описаны в этой части книги.

1. Модуль численности населения (**POPMIG). Использует внеш**ние параметры фертильности и смертности (на которые влияют программы планирования семьи и услуги здравоохранения), 45 возрастных групп с интервалом 2 года, с делением по полу и региону проживания. Учитывается миграция, движимая различиями в уровне занятости и жизненных стандартах[13]. Модуль населения влияет на все остальные через спрос на продовольствие и предоставление рабочей силы сельскому хозяйству.
2. Модуль изменений в технологиях (**CHANGE). Использует инфор**мацию о ценах на сырье, продукцию, инвестиции правительства

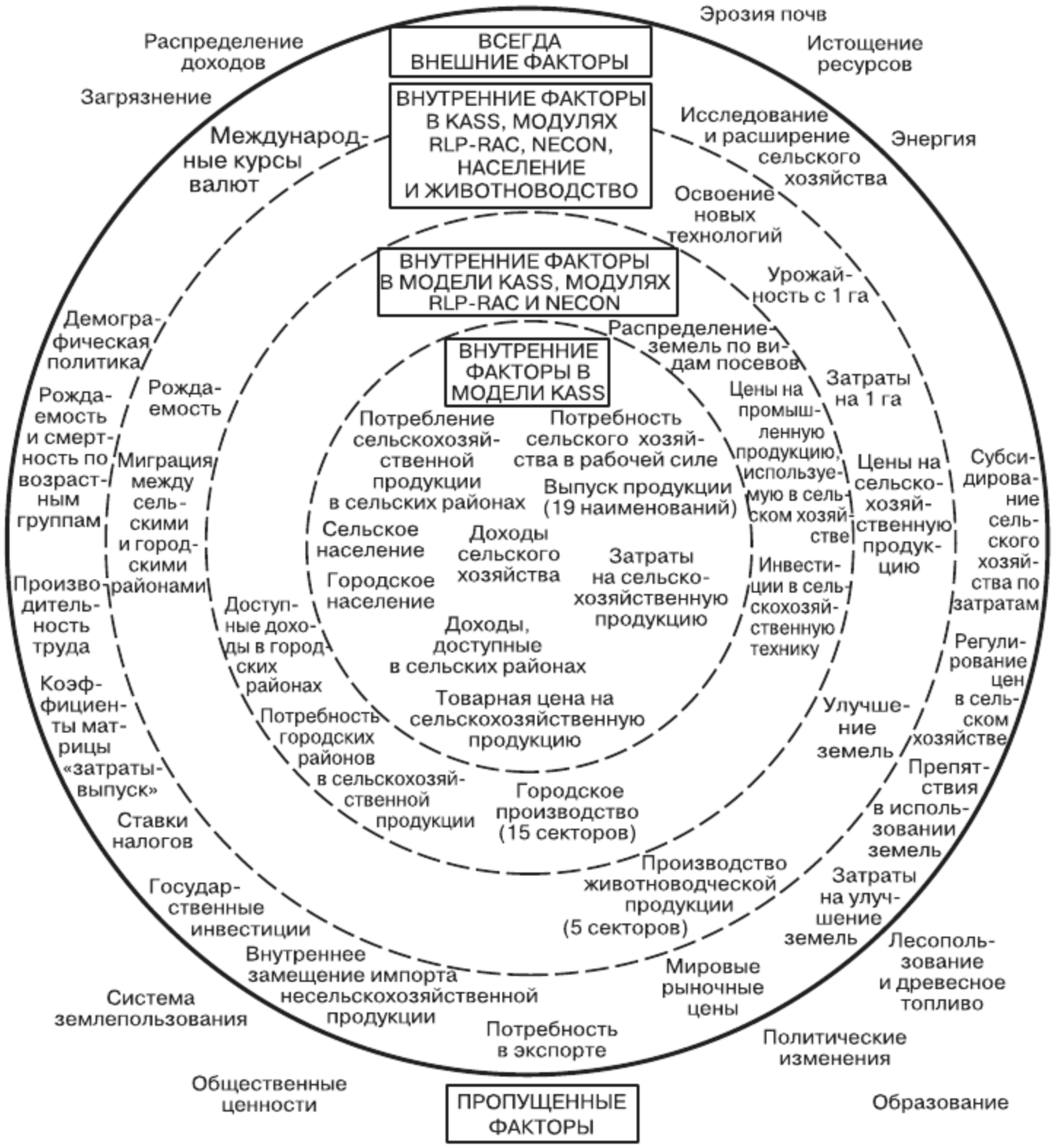


Рис. 10.1. Границы модели KASM

в земельные и водные ресурсы, в развитие технологий. Модуль рассчитывает площадь обрабатываемых земель, расходы и ожидаемый урожай. CHANGE представляет собой динамическую модель технологического развития в сельском хозяйстве, основанную на внешних предположениях о полезности инвестиций в техническое развитие. Результаты — разнообразные производственные функции — подаются на вход в модуль FRESAL.

3. Модуль распределения ресурсов и продукции в фермерстве (FRESAL). **Получает информацию из модулей CHANGE, POPMIG, DEMAND и NECON, отображает решения фермерско-**

го сектора о том, как распределять ресурсы для производства 19 основных видов продукции. Итеративная линейная программа производит распределение по 61 виду сельскохозяйственной деятельности (выращивание 12 видов зерновых, 5 видов продукции животноводства, 2 видов многолетних культур и т. д.), с учетом 60 ограничивающих факторов (тип земель, рабочая сила, техника, финансовые соображения и т. п.) и выдает в качестве результата выпуск сельскохозяйственной продукции, потребности в сырье, доходы фермерского сектора. Это оптимизационная модель, она постоянно получает новую информацию из модуля CHANGE.

4. Модуль спроса, цен и показателей торговли (DEMAND). Получает результаты из сельскохозяйственного модуля FRESAL, модуля населения POPMIG и данные о государственной политике в виде внешних переменных. Модуль может работать в одном из трех режимов:

   1) потребление задается извне, а цены и баланс импорта-экспорта выстраиваются по условию рыночного равновесия;
   2) уровни импорта-экспорта задаются извне, а потребление и цены рассчитываются на их основе;
   3) задаются цены, через них определяются потребление и торговый баланс.

   Мировые рыночные цены устанавливаются извне. Модуль использует итерационный метод решения систем уравнений.

5. Модуль национальной экономики (NECON). Это 16-секторная модель межотраслевого баланса, позволяющая описать несельскохозяйственное производство, потребность в рабочей силе, цены на сырье для производства аграрной продукции. Технические коэффициенты считаются постоянными, за исключением сельского хозяйства. Производительность труда задается как внешний параметр. Итоговый спрос определяется частично на основе данных о спросе из модуля FRESAL, частично с учетом потребностей в продовольствии из модуля DEMAND. Учитываются также внешние факторы государственных инвестиций и экспорта, а также внутренние вычисления для частных инвестиций и спроса на непродовольственные товары. Частные инвестиции для каждого сектора зависят от прибылей и использования мощностей. Потребление рассчитывается как функция от цены и величины ВВП на душу населения.

6. Бухгалтерская подсистема. Этот модуль рассчитывает сводные показатели (ВНП, торговый баланс, уровни питания) на основе информации, получаемой из других частей модели.

Все перечисленные модули создавались по отдельности и используют совершенно разные предположения, методы и уровни обобщения. Свести все это воедино было так же трудно, как в модели BACHUE. Например, все 19 видов зерна из модуля FRESAL необходимо внести в один из 16 секторов подсистемы NECON; 16 расчетов о потребности в рабочей силе необходимо распределить по 180 группам населения, чтобы определить миграционные потоки, и т. д.

Описать столь сложную модель подробно просто невозможно — она слишком велика. Но общее представление о взаимодействии ее элементов можно получить из рис. 10.2, на котором показана структура для сравнения.

Нет нужды говорить о том, что разобраться в такой «навороченной» модели невозможно. За три года обучения ни один человек в Корее не добился успеха на этом поприще. Даже сами разработчики, имевшие большой опыт работы с системой, признавались, что испытывают сложности с пониманием того, как она работает[14].

При этом функции отдельных модулей системы понять в какой-то степени можно. Например, разработчики KASM достаточно четко описали, каким образом линейная программа осуществляет распределение ресурсов[15]. Вопросы возникают не к подсистемам по отдельности, а к тому, как они взаимодействуют, какую информацию и в каком виде передают друг другу и как это влияет на расчеты.

Изначально предполагалось, что модель будет полезна в принятии конкретных решений, в кратковременной перспективе (в отличие от других моделей в нашем обзоре, рассчитанных на средний и продолжительный временные диапазоны). Модель должна была отвечать на вопросы тех, кто планирует развитие национального сельского хозяйства. Она не предназначалась для общего понимания, потому что предполагалось, что оно уже есть. На моделирование были брошены колоссальные финансовые и человеческие ресурсы, у разработчиков было более чем достаточно времени, чтобы создать детальную и большую систему. Но обилие подробностей всегда вступает в противоречие с понятностью и четкостью модели, и системы KASM это касается в большей степени, чем всех остальных. Даже сами разработчики предупреждали, что из результатов модели можно сделать ложные выводы и дать неправильные объяснения, если не проявить осторожность и внимание при трактовке[16].

10.6. Данные

Даже в начальной версии модели KASM содержатся многие тысячи количественных параметров. Например, для сектора численности населения в прототипе KASS с его 45 возрастными группами, делением

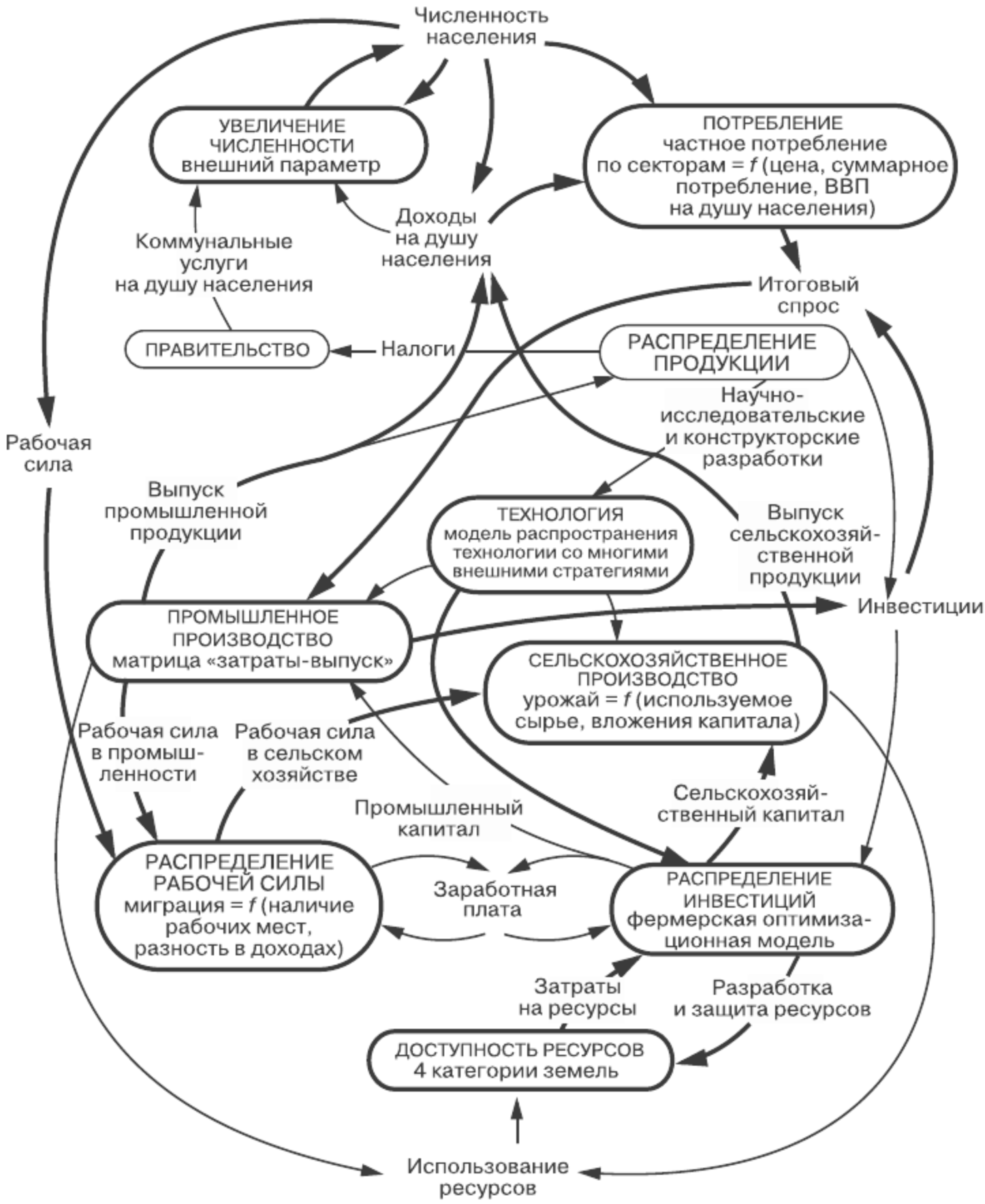


Рис. 10.2. Структура для сравнения, построенная для модели **KASM. Элементы, взятые в толстые рамки, и связи, отмеченные жирными стрелками, включены в модель. Остальные элементы и связи в модели отсутствуют и показаны для сопоставления**

по полу и региону проживания набор начальных данных содержит 180 записей. Добавьте сюда смертность в зависимости от половозрастного распределения, требования к питанию, уровни рождаемости, темпы миграции, и вы получите уже почти 1000 параметров. В табл. 10.1

приведен список лишь некоторых видов данных, необходимых для модели KASM.

В документации к модели **KASM есть краткие описания для каждого** модуля с перечислением необходимых данных и использованных источников[17]. Подборки данных обычно начинаются с середины 1960-х гг. Если представленные статистические данные противоречили представлениям разработчиков, то специалисты KASM проводили дополнительную проверку их точности[18]. При этом особенно отмечалось, что в Корее очень остро стоял вопрос с достоверностью данных, их полнотой и надежностью — такое положение дел типично для развивающихся стран[19]. На статистические данные в очень большой степени влияли ожидания и желаемые оценки правительства, а также склонность местных властей к недооценке или переоценке посевных площадей и ресурсов, в зависимости от того, что было финансово выгоднее в тот или иной момент[20].

Расчеты по модели с 1970 по 1974 г. использовались для проверки ее адекватности. Перед тем как использовать систему для прогнозирования до 1985 г., в нее завели обновленные данные по 1974 г. — действие с научной точки зрения неправильное, но с позиции практики понятное[21].

10.7. Выводы

Модель **KASM создавалась для того, чтобы ее можно было использовать** на промежуточной стадии в принятии решения, для выбора стратегии на основе подробной информации о моделировании на 5 или даже 15 лет вперед. Заключения не должны были быть общими рассуждениями на тему развития, как мы видели это в моделях, рассчитанных на долговременную перспективу и предназначенных для общего понимания. Самые общие выводы из всех, что сформулированы специалистами KASM, были сделаны для первой, простой, прототипной модели **KASS, в которой использовались преимущественно внешние переменные**. Было это в 1972 г.[22]

1. В краткосрочной перспективе набор программ по развитию аграрного сектора увеличит выпуск сельскохозяйственной продукции, уменьшит миграцию из сельских районов в городские и ускорит модернизацию в сельском хозяйстве.
2. В долгосрочной перспективе потребуется увеличивать инвестиции в исследования в области сельского хозяйства и проводить эффективные программы планирования семьи.

Таблица 10.1

Примеры данных, необходимых для прототипной модели KASS*

Модуль	Заданные переменные			Технические, организационные и поведенческие параметры	Ключевые переменные и параметры
	Внутренние с запаздыванием		Внешние		
	Внутри модуля	Вне модуля**			
Население (POPMIG)	Население по полу, возрасту и региону проживания	Занятость вне сельского хозяйства	Занятость в городских районах	Коэффициент рождаемости Коэффициент смертности Темпы миграции	Программы ограничения рождаемости Занятость сельского населения в других сферах Вооруженные силы
Изменения в технологии сельского хозяйства (CHANGE)	Урожай зерновых Использование сырья Категории земель	Цены Площади посевов Доходы от фермерства Возраст лесных массивов	Затраты на обработку земель Максимальное улучшение состояния земель Частный нефермерский капитал	Производственные коэффициенты Скорость распространения Эластичность спроса по сырью Потребление фермерского сектора на единицу инвестиций	Инвестиции в разработку земельных и водных ресурсов Улучшение посевных культур Расширение площадей Регулирование цен на сырье и продукцию Финансовая политика в сельском хозяйстве

Окончание табл. 10.1

Распределение ресурсов и производства в фермерском секторе (FRESAL)	Используемые посевные культуры Поголовье скота Запас капитала Сбережения фермерского сектора	Цены производителя Цены на сырье Максимальная рабочая сила в фермерском секторе Максимальные доступные земли и вода Урожай сельскохозяйственных культур	Продуктивность скота	Коэффициенты потребности в ресурсах Максимальные ставки по кредитам Нормы амортизации Максимальные коэффициенты изменения	Финансовая политика в сельском хозяйстве Импорт продовольственного зерна (максимум)
Спрос-Цены-Торговля (DEMAND)	Потребление на душу населения Цены производителя	Численность населения Предложение сельскохозяйственной продукции Доходы аграрного сектора Доходы иных видов деятельности	Целевое потребление на душу населения Мировые цены	Эластичность доходов Эластичность собственных цен Степень замещения	Ценовая политика Политика потребления продовольствия Курсы обмена валют Внешняя торговля
Национальная экономика (NECON)	Прибыльность сектора Затраты сектора Валовые инвестиции	Затраты на непродовольственные товары Спрос на сырье для сельскохозяйственной деятельности	Производительность труда Экспорт несельскохозяйственной продукции Мировые цены	Коэффициенты в матрице «затраты-выпуск» Эластичность цен и доходов для непродовольственных товаров Прибыль и эластичность использования инвестиций	Государственное потребление Государственные инвестиции Ценовая политика Замещение импорта Ставки налогообложения

* Воспроизводится из источника Rossmiller[7], с. 398, по разрешению редактора издания.
** Предполагается, что все модули увязаны друг с другом. Если они не связаны, то переменные будут считаться внешними.

Расширенная модель KASM и ее составные части уже давали строго сформулированные заключения, рассчитанные на ближайшее будущее, чтобы ими могло руководствоваться правительство Кореи[23].

1. Принципиальной задачей Министерства сельского хозяйства и рыболовства было ограничить импорт продовольственного зерна. Группа **KASM предлагает три варианта: базовый сценарий**, не предусматривающий изменений в политике, а также два сценария, в которых реализованы ограничения в разведении домашней птицы и свиней. Упомянутые варианты обсуждались и дорабатывались с учетом данных Управления по животноводству, а также информации, полученной из других источников, чтобы сформировать основу стратегии для принятия решений в рамках четвертого 5-летнего плана.
2. В 1974 г. Министерство сельского хозяйства и рыболовства попыталось установить, какие виды товаров следует выпускать на экспорт, в какие страны и в каких количествах. Группа KASM использовала подсистему DEMAND, моделирующую в том числе внешнюю торговлю, и проверила несколько альтернативных сценариев для изменения будущих мировых рыночных цен. Модель имеет слишком обобщенный характер, чтобы ответить на столь узко поставленный вопрос. Ее 19 товарных групп не позволяют детально изучать виды сельскохозяйственных культур по отдельности. Однако модель позволила проверить заключения, сделанные самим Министерством ранее.
3. После нескольких лет безуспешных попыток снизить потребление риса на внутреннем рынке (импорт риса обходился слишком дорого), в 1975 г. Корея все-таки смогла далее самостоятельно удовлетворять свои потребности в этой сельскохозяйственной культуре. Затем возник вопрос о том, каким образом постепенно снять ограничения в потреблении риса, за его счет уменьшив потребление пшеницы — единственной культуры, которая продолжала импортироваться в страну. Модуль DEMAND системы KASM был запущен несколько раз, чтобы проверить сценарии с различными ценами на ячмень, рис и пшеницу. Был сделан следующий вывод: правительству следует поддерживать реальные цены на рис неизменными, постепенно сворачивая систему двойной цены на ячмень, и не следует субсидировать закупки пшеницы.

Подробно прописанные решения в стиле тех, что мы привели выше, очень быстро перестают быть правильными. Сегодня они могут соответствовать текущей ситуации, а завтра уже нет. Для выработки

решений нужна не только правильная структура модели, но и актуальные параметры, поскольку заключения зависят в первую очередь от них. Чтобы не допустить ошибки в столь тонком механизме, работы должны выполнять подготовленные специалисты, «практикующие» разработчики моделей. Они должны играть роль постоянных консультантов, определяющих суть проблемы, выбирающих модуль, который используется для решения, своевременно обновляющих параметры и подробно объясняющих результаты заказчикам.

10.8. Тестирование

Каждый модуль в системе KASM не только создавался отдельно, но и тестировался изолированно от остальных частей. В документации эти тесты описаны лишь вкратце[24]. Судя по всему, тесты подтверждали соответствие данным, накопленным за прошлые периоды, и проверяли внутреннюю непротиворечивость системы. Проводилась и проверка чувствительности системы к изменению некоторых параметров. Например, в отчете сказано, что функция, описывающая миграцию, чувствительна к предположениям об уровне занятости[25] и что потребовалась серьезная «ручная» подстройка связей, описывающих эластичности и замещения в модуле DEMAND[26]. Но никакие подробности ни по каким видам тестов в документации не приводятся. Все описания заканчиваются тем, что разработчики перечисляют, что еще можно улучшить. Видимо, тестов проводилось больше, чем описано в сопроводительных материалах к модели.

Тестирование системы KASM как единого целого описано очень поверхностно. Разработчики перечислили четыре теста, которые они сочли важными для проверки правдоподобности модели[27].

1. Внутренняя последовательность: модель проверялась на логические несоответствия, расхождения с реальной системой.
2. Соответствие: отражают ли структура и поведение модели структуру и поведение реальной системы.
3. Понятность: модель не только не должна допускать двусмысленностей, но и быть понятной тем, кто принимает решения, и тем, кто проводит анализ.
4. Практическая применимость: правдоподобность зависит от того, насколько результаты моделирования можно применять к реальной системе.

Разработчики, видимо, были удовлетворены тем, как модель прошла тестирование, однако подкреплять тесты объяснениями не стали, и читатель на сей счет остается в неведении. Описание тестирования

модели в целом занимает всего несколько предложений, суть которых сводится к тому, что по мере использования управленцы будут приобретать опыт работы с программой, что со временем им станет проще интерпретировать ее результаты и что модель прошла проверку на практическую применимость[28].

10.9. Реализация

Все работы над проектом KASM велись с прицелом на практическое использование модели. Агентство USAID хотело знать, как именно помогать Корее, чтобы помощь не оказалась напрасной, и как правительству Республики Корея следует применять системный анализ в процессе планирования. Первой цели, пожалуй, удалось достичь (как минимум частично) — результаты модели-прототипа KASS действительно учитывались при планировании помощи Корее в виде займа на сельскохозяйственные исследования[29]. Мичиганский университет даже участвовал в переговорах по поводу следующего займа, выданного USAID на 66 не очень масштабных проектов по орошению[30].

Чтобы достичь второй цели, к группе разработчиков прототипной модели KASS подключили специалистов из американо-корейской группы по планированию сельского хозяйства (KAPP). Специалисты KAPP выступали посредниками между разработчиками и правительством Кореи. Было проведено несколько обучающих курсов, чтобы в итоге корейцы могли вести планирование сами, при необходимости дорабатывать систему и использовать модель. «Передача дел» изначально планировалась на июнь 1974 г., но в итоге состоялась в 1977 г.[31] При этом разработчики отдают себе отчет и открыто признают, что на развитие сельского хозяйства в Корее влияла далеко не только их модель и что полагаться на компьютерную программу как единственный источник информации определенно не следует[32].

Вместе с тем создатели системы KASM заявляют, что она стала неотъемлемым инструментом для принятия решений в правительстве страны[33]. Это похоже на правду, поскольку корейские управленцы действительно не раз обращались за информацией к модели KASM. Но все-таки нужно уточнить: бóльшая часть этой информации была нужна не для принятия решений, а для бюрократической отчетности. В качестве успешных примеров использования системы KASM разработчики упоминают[34]:

1) подготовку доклада об официальной позиции Кореи для конференции ООН по вопросам мирового продовольствия в 1975 г.;
2) предложения по программам численности населения, вошедшие в четвертый 5-летний план страны;

3) прогнозы потребления, сформированные Управлением по животноводству при Министерстве сельского хозяйства и рыболовства[35];

4) обращение директора-распорядителя министерства к группе KASM с просьбой оценить итоговый черновой вариант четвертого 5-летнего плана перед тем, как он будет представлен министру. В ответ на это обращение специалисты группы подготовили список рекомендаций[36].

Ли Флетчер из подразделения технического обеспечения в USAID был непосредственным участником проекта KASM, и он считает, что отдельные модули системы даже полезнее, чем общее целое, — их можно применять для краткосрочного планирования и принятия решений, не привлекая большую модель[37]. Некоторые важные комментарии по работе группы KASM связаны не непосредственно с моделью, а, например, с тем, что сам факт выполнения проекта коренным образом изменил положение дел в Корее со сбором статистики и позволил навести порядок в этой области[38].

При этом установка и постоянное использование модели KASM для планирования оказались сложнее, чем ожидали Агентство USAID и специалисты Мичиганского университета. Самые большие трудности были связаны с обучением местных технических специалистов, которые могли бы сами использовать и обновлять модель. Когда проект только начинался, в Национальном исследовательском институте экономики сельского хозяйства NAERI было всего три специалиста по сельскохозяйственной экономике. Затем обучение прошли 45 корейских специалистов, из них 14 продолжили работу в подразделении KASM в институте NAERI[39]. Однако позже выяснилось, что для того, чтобы человек мог по-настоящему включиться в работу с системой и совершенствовать ее, ему нужно обладать подготовкой в области системного анализа на уровне кандидата наук. В Корее таких специалистов не было, а если и были, то их не удалось бы долго удержать на одном месте работы.

Сложности возникли и с непосредственным принятием решений в Министерстве сельского хозяйства и рыболовства. Специалисты института NAERI не занимали в нем руководящих позиций и не могли повлиять на выбор стратегии. Из-за этого разработчики модели даже дали рекомендации министерству по его реорганизации[40].

Можно сказать, что ближе всего к выполнению своей цели проект KASM подошел в тот момент, когда специалисты Мичиганского университета еще сопровождали работы и проводили обучение. После того как американские специалисты уехали, поддержкой модели в Корее занимался специально организованный исследовательский институт KREI, в штат которого набрали прошедший обучение мест-

ный персонал. В институте могли запускать и использовать модель, но о ее совершенствовании или обновлении речь уже не шла. В какой-то момент институт KREI даже обратился за помощью к Мичиганскому университету, чтобы установить отдельный модуль системы, предназначенный для моделирования зерновых запасов, и провести цикл учебных курсов по его использованию[41].

Модель KASM неоднократно воспроизводилась в разных странах мира. Ее использовали в Министерстве сельского хозяйства США, оценивая торговые отношения с Кореей. Похожие модели разрабатывались и для Европы. В Международном институте прикладного системного анализа IIASA все эти модели объединили в сверхмодель, описывающую международную торговлю сельскохозяйственными видами продукции[42]. Мичиганский университет получал запросы на адаптацию модели для Турции и Таиланда.

Подводя итоги, можно сказать, что USAID и группа KASM приложили огромные усилия к тому, чтобы за несколько лет разработать инструмент, который правительства развивающихся стран могли бы применять для планирования. Инструмент чрезвычайно сложный, построенный на самых современных технологиях... Если бы удалось достичь всех поставленных целей, Корея получила бы более мощное средство для планирования сельскохозяйственной политики, чем сами США. Задача не была выполнена на 100%, но вызывает удивление и уважение то, сколь многого удалось достичь.

10.10. Требования к компьютеру

Все модули системы KASM написаны на Фортране. В сравнении с другими моделями, описанными в этой книге, программный код KASM очень объемен. Даже на мощной машине прогон последней версии модели для моделирования 15-летнего периода занимает 4 минуты[43]. Подробный вариант с делением на три региона требует для расчета уже 35 минут[44], поэтому такая версия больше не используется.

Группа KASM внесла свой вклад в популяризацию компьютерной техники в Корее. Институт NAERI получил доступ к Корейскому национальному компьютерному центру с его вычислительными мощностями, однако на практике этой возможностью не воспользовался, потому что время ожидания результатов было слишком велико. В неделю можно было выполнить только 3—4 прогона программы. Для срочных вычислений группа арендовала компьютерное время у Корейского института науки и технологии. Были и попытки удаленного доступа к вычислительным мощностям в США, но они не увенчались успехом[45].

10.11. Документирование

Документация на модель KASM очень велика. Группа ее создателей за три года опубликовала 84 работы, включая статьи, диссертации и самые разнообразные материалы, как на английском, так и на корейском языке. Однако такое обилие материалов не помогает понять модель — большая часть их носит либо слишком общий характер, либо, наоборот, посвящена узкоспециальным техническим вопросам. Самой полезной для понимания оказалась книга о том, как модель строилась и применялась[46], но и она не содержит достаточной информации и не может считаться полноценной документацией на систему. Кроме того, она почти ничего не говорит об организационной составляющей и политической обстановке вокруг проекта. Из получасовой беседы с любым членом группы можно вынести больше полезной информации, чем из тщательного штудирования доступных документов. Собственно, именно так мы убедились в том, насколько на самом деле скудна и фрагментарна по содержанию документация на модель. Проект был одним из самых серьезных, какие только проводились в мире, ему обеспечивали мощную поддержку, выделяли лучшие силы, работа щедро финансировалась... Участники предложили немало принципиально новых идей как для моделирования, так и для реализации. Некоторые из них сработали, некоторые нет, однако и то, и другое было весьма поучительно и способствовало прогрессу в сообществе разработчиков. Модель заслуживает того, чтобы о ней рассказали больше, и, может быть, мы про нее еще услышим.

Ссылки на источники

1 *Manetsch T.J.* с коллегами. **A Generalized Simulation Approach to Agricultural** Sector Analysis. Michigan State University: East Lansing, Mich., 1971.

2 *Rossmiller G.E.* с коллегами. **Korean Agricultural Analysis and Recommended Development Strategies, 1971—85. Michigan State University: East Lansing**, Michigan, 1972.

3 *Rossmiller G.E.* **Utilizing a Systems Model for Policy Analysis; доклад представлен** на семинаре: **Evaluation of the Korean Agricultural Sector Simulation** Model. Airlie House, Airlie, Virginia, 17—19 марта 1974 г., с. 3,

4 *Fletcher L.* Technical Assistance Bureau of USAID, информация получена в частной беседе.

5 KASM Team (коллективное авторство). Annual Report for Period July 1, 1973 — June 30, 1974 of the Project on Adoption and Testing of Agricultural Simulation Models to Sector Analysis. Contract AID/csd-2975 USAID. Ag. Sector **Analysis and Simulation Projects, Dept. of Ag. Econ. Center for International** Studies, MSU, East Lansing, 30 июня 1974 г., с. 51—59.

[6] **Food and Agricultural Organization of the U.N. FAO Syllabus on Agricultural** Sector Analysis, Part 3, Alternative Approaches and Models for Sector Analysis, публикация ES/MISC/73/31, FAO, Rome, 3 мая 1975 г., с. 72.

[7] *Rossmiller G.E.* (ред.). Agricultural Sector Planning. Agricultural Sector Analysis and Simulation Projects, Department of Agricultural Economics, Michigan State University, East Lansing, Michigan, 1978. С. 104.

[8] Там же, с. 77.

[9] Ранее упомянутый источник: *Rossmiller G.E.* 1974, с. 6.

[10] Ранее упомянутый источник: *Rossmiller G.E.* 1978, с. 67.

[11] *Randers J.* A Review of the KASS Simulation Model: доклад подразделению технической поддержки **USAID (Washington, Bureau of Technical Assist**ance), подготовленный группой системной динамики в Слоуновской школе менеджмента: System Dynamics Group, Sloan School of Management, MIT, 14 марта 1974 г., с. 8.

[12] Высказывание и последующее описание структуры модели взято из источника: *Carroll T.W.*, *Abkin M.H.* A System Simulation Model for Agricultural Development Planning and Policy Analysis: The Korean Agricultural Sector Model: **презентация представлена на конференции: International Conf**erence on Cybernetics and Society, Washington, D. C., 1—3 ноября 1976 г.

[13] Сокращенное описание взято из источника: **Korean Agriculture Sector Sim**ulation Project, с. 20.

[14] *Haen H. de*. Consulting Report. KASS Consulting Trip, August 25-September 19, 1975: неопубликованный черновик, с. 2.

[15] *Haen H. de*. **Preliminary User's Guide to the Recursive Linear Program**ming Resource Allocation Component: рабочие материалы по модели KASS 73-7/2.

[16] Ранее упомянутый источник: *Rossmiller G.E.*, 1978., с. 248.

[17] Там же, главы 6—10 и в особенности глава 11.

[18] Информация получена от нескольких разработчиков модели **KASM в част**ной беседе.

[19] Ранее упомянутый источник: *Rossmiller G.E.*, 1972., с. 15—16.

[20] Ранее упомянутый источник: *Rossmiller G.E.*, 1978., с. 222.

[21] Там же, с. 221—222.

[22] Ранее упомянутый источник: *Rossmiller G.E.*, 1972, с. 51.

[23] Ранее упомянутый источник: *Carroll T.W.*, *Abkin M.H.*, с. 6—8.

[24] Ранее упомянутый источник: *Rossmiller G.E.*, 1978., в конце глав 6—10.

[25] Там же, с. 129.

[26] Там же, с. 214.

[27] Там же, с. 237—238.

[28] Там же, с. 238.

[29] Отчет группы разработчиков «**Report of KASS/KAPP Review Team», основ**анный на работе группы в Корее, 6—13 марта 1976 г. Работы выполнялись в соответствии с контрактом #AID/ASIA-C-1157 (печатный документ USAID), с. 15.

[30] Там же, с. 19.

[31] *Jones F.C.* Development and Implementation of a Project: Korea, глава 7.

[32] Ранее упомянутый источник: *Rossmiller G.E.*, 1978, с. 248.

[33] Там же, с. 45.

[34] Все описано в отчете «Report of KASS/KAPP Review Team», упомянутом ранее.

[35] Там же, с. 17.

[36] Там же, с. 18.

[37] *Fletcher L.*, информация получена в частной беседе.

[38] *Rossmiller G.E.*, информация получена в частной беседе.

[39] Ранее упомянутый источник: отчет «Report of KASS/KAPP Review Team».

[40] Там же, с. 50.

[41] *Rossmiller G.E.*, информация получена в частной беседе.

[42] **К 1983 г. модель по-прежнему не была снабжена полноценной документа**цией. Промежуточные отчеты публиковались в материалах: **Food and Ag**riculture Program, II AS A, A-2361, Laxenburg, Austria.

[43] Ранее упомянутый источник: *Carroll T.W.*, *Abkin M.H.*, с. 2.

[44] Ранее упомянутый источник: *Rossmiller G.E.*, 1978, с. 106.

[45] Ранее упомянутый источник: KASM Team «Annual Report for Period July 1, 1973 — June 30, 1974», с. 39—42.

[46] *Rossmiller G.E.* (ред.). Agricultural Sector Planning, East Lansing. Michigan State University: Dept. of Agricultural Economics, 1978.

11
ГЛАВА

MexicoV: статистические заплатки

11.1. Организационные вопросы

В эконометрике признанными грандами считаются Уортонская школа и связанные с ней организации: уортонские Ассоциация экономического прогнозирования (European Finance Association, EFA) и Подразделение экономического прогнозирования (Economic Forecasting Unit, EFU). У них богатая история и отличная научная репутация. Ведущий специалист по эконометрике в Уортонской школе — доктор наук Лоуренс Клейн, один из основателей современного течения в этом направлении.

Система MexicoV создана благодаря школе моделирования Клейна-Уортона. Автор разработки, Абель Бельтран дель Рио, создал модель MexicoV в то время, когда был аспирантом Клейна в Уортонской школе. Влияние руководителя прослеживается в постоянных ссылках на его работы и цитатах в диссертации; кроме того, в опубликованном отчете о модели Клейн был в соавторах[1].

Для работы над моделью MexicoV Бельтрану дель Рио удалось привлечь в качестве спонсоров более 50 мексиканских частных компаний и правительственных агентств. На эти средства в EFA был создан отдел, в задачу которого входило постоянное исследование мексиканской экономики эконометрическими методами. На базе этого отдела Бельтран дель Рио и его коллеги разрабатывали и обновляли мексиканскую модель и делились результатами с заинтересованными представителями бизнеса и правительственными кругами.

Связь между Бельтраном дель Рио и финансирующими сторонами не носила прямого коммерческого характера, а была именно спонсорством. Работы велись так, как если бы на них был получен грант. От создателей модели никто не требовал «услуги за услугу», как это бывает в коммерческих проектах, поэтому разработчики могли сосредоточиться на исследовании и не думать ни о чем другом[2].

До поступления на работу в Уортонскую школу Бельтран дель Рио на протяжении многих лет сам занимался бизнесом. В отличие от других разработчиков, упомянутых в нашей книге, он знал ситуацию изнутри и прекрасно понимал, чего хотят спонсоры. Модель MexicoV — единственный пример в нашей практике, когда гражданин страны с не очень развитой промышленностью создал модель для своего государства благодаря финансированию, которое нашел в пределах своей страны.

11.2. Цели

Модель MexicoV должна была служить сразу нескольким целям. Во-первых, она была основой диссертации. Во-вторых, это исследовательский инструмент для изучения структуры мексиканской экономики, и в таком качестве его используют до сих пор. В-третьих, это средство прогнозирования и изучения экономических последствий от различных правительственных программ. Бельтран дель Рио и Клейн также отмечают, что модель должна была продемонстрировать новые, технически совершенные методы статистики для вычленения информации из неполных данных. Это шаг к улучшению качества моделирования и одновременно стимул к сбору более качественных данных, что должно заложить хорошую основу для будущих эконометрических исследований в остальных странах Латинской Америки[3].

Из описаний экономики Мексики, которые дает Бельтран дель Рио, и выбранных показателей для оценки результатов модели совершенно очевидно, что определенные экономические проблемы известны ему не понаслышке. Модель должна описывать поведение экономики «в течение всего периода правления администрации Эчеверриа с 1971 по 1976 г.»[4]. Проблемы, на которых сосредоточено исследование, — неравенство в распределении доходов, быстрый рост численности населения, безработица, неравномерный рост в различных секторах экономики. Среди вопросов, интересовавших Бельтрана дель Рио, есть такие: можно ли обеспечить достаточный уровень занятости, если предложение рабочей силы ежегодно растет на 3—4% ? Можно ли стимулировать экономический рост, не провоцируя высокую инфляцию, нарастание торгового дефицита и/или ухудшение положения с неравенством доходов, которое и без того более чем серьезно? Какие секторы экономики будут расти и качественно изменяться быстрее всех? Что может предпринять правительство, чтобы сделать рост более равномерным?

11.3. Методы

Путь, который избрал Бельтран дель Рио, чтобы определить структуру модели MexicoV, на удивление строг и формален. Существенная

часть его работы ушла на то, чтобы установить взаимосвязи переменных в модели. В Уортонской школе экономики считалось, что задача прикладного эконометриста — объяснить и установить связь между всеми имеющимися макроэкономическими показателями, включая национальную систему счетов, затраты и выпуск продукции, потоки капитала[5].

В случае Мексики задача была очень непростой. Для экономики промышленно развитого государства лучший способ отображения — неокейнсианская структура, управляемая спросом, однако для развивающихся стран со структурой всё не так однозначно.

Прежде всего нужно было решить, какие переменные в модели экономики будут внешними, какие внутренними и какими должны быть временны́е задержки. Этот этап работы опирался на экономическую теорию и собственные знания автора об особенностях экономики страны. Создатель модели «провел детальное эмпирическое изучение, основываясь на анализе статистического материала... и работах профессиональных экономистов»[6]. В результате появилось пространное словесное описание текущего состояния мексиканской экономики на основе макроэкономических показателей, и это позволило примерно определить взаимные влияния переменных в модели.

На этом же этапе Бельтран дель Рио проверил три альтернативных направления в поиске структуры. Первый вариант был основан на теории экономического развития и математической модели четырех теоретиков (Нурске, Либенштейна, Хиршмана и Льюиса), в явном виде описавших процесс развития[7]. Второе направление состояло в изучении пяти разработанных ранее эконометрических моделей для государств Латинской Америки, уделявших особое внимание инфляции, производству, наращиванию производительности, распределению доходов и политическим факторам[8]. Третий путь предусматривал анализ математического описания трех принципиальных теоретических моделей — классической, кейнсианской и марксистской. Оценивалось, насколько точно они могут соответствовать экономике Мексики, правдоподобным ли будет результат (на качественном уровне) и коррелируют ли полученные значения с фактическими данными (количественная оценка)[9].

Сформулировав основные представления о структуре, примерно определив набор переменных и взяв недостающие теории из экономической литературы, Бельтран дель Рио постарался для каждой взаимосвязи в модели выбрать наилучшее описание. Как он говорил, в идеале выбор между вариантами «надо делать, перепробовав все из них и взяв тот, что больше всего соответствует эмпирическому описанию, если только это коренным образом не противоречит статистическим данным»[10].

Можно привести пример того, как автор делал выбор, — это касалось функции потребления. У зависимости было четыре варианта.

1. Формулировка Кейнса, согласно которой потребление на душу населения зависит от доступного душевого дохода.
2. Динамическая версия функции Кейнса, в которой душевое потребление зависит от доступного душевого дохода в текущем и предшествующем году.
3. Формулировка Маркса, в которой совокупное потребление в частном секторе зависит от класса и доступных доходов. Те, кто трудится за заработную плату, расходуют на потребление бóльшую ее часть, а капиталисты тратят на потребление меньшую долю своих (существенно более высоких) доходов.
4. Динамическая функция Маркса, в которой совокупное потребление представлено как функция, с запаздыванием описывающая распределение средств на зарплаты рабочим и доходы капиталистов.

Бельтран дель Рио пришел к выводу о том, что лучше всего фактическим данным соответствует динамическая кейнсианская функция — все остальные сопоставления оцениваются хуже[11]. После принципиального выбора базовой структуры можно было переходить к деталям. По ходу уточнения и совершенствования было создано пять версий модели — именно поэтому итоговая система называется MexicoV.

Параметры модели определялись привычным методом наименьших квадратов, за исключением десяти уравнений, в которые были включены запаздывания. Их просчитывали с помощью «полиномов третьей степени с двумя ограничениями по конечным точкам»[12]. Учитывая очень тесную взаимозависимость переменных, возможно, стоило бы применить более продвинутые статистические методы, но автор отказался от них из-за неполноты данных и высокой стоимости расчетов по усложненной методике[13].

В результате итоговая математическая модель включала в себя 143 уравнения, при этом 40 из них были статистически оцененными внутренними переменными, а остальные рассчитывались через них. Все оцененные уравнения имеют линейную форму. Десять из них содержат запаздывания продолжительностью до трех лет. И еще больше десятка временных задержек продолжительностью в один год предусмотрено при описании скорости изменений. В модели 46 внешних переменных (они не учтены в числе 143 уравнений). Практически во всех случаях внешние прогнозы формировались после подробного обсуждения с экспертами. В том, что касалось планов правительства, обсуждение проводилось с кругами, близкими к властным структурам Мексики. Поскольку экономика страны довольно сильно зависит от того, что происходит в Соединенных Штатах, проводились консультации и с экономистами из Агентства EFA, специализирующимися на прогнозировании экономических изменений в США.

11.4. Границы

Бельтран дель Рио ставил перед собой задачу отразить все важные факторы, независимо от того, какие данные доступны, а какие нет[14].

1. Наращивание производительности за счет капитала и импорта технологий, с учетом общих ограничений капитала и избытка неквалифицированной или низкоквалифицированной рабочей силы.
2. Внутренние и внешние источники нестабильности: политические влияния на экономику, зависимость от внешней торговли, внутренние и внешние причины инфляции.
3. Главенствующая роль федерального правительства, задающего правила игры и регулирующего деятельность, контролирующего государственные финансы.
4. Общая неравномерность экономической деятельности, выражающаяся в распределении доходов, противостоянии между продукцией промышленности и сельского хозяйства, между федеральными и местными налогами.
5. Быстрые изменения в демографической сфере, приводящие к быстрому росту численности населения, миграции рабочей силы из сельских районов в городские, безработице.
6. Зависимость от рынка США с его влиянием на международную миграцию рабочей силы, туризм, трансграничную деятельность.
7. Причины, по которым временны́е периоды, рассматриваемые в принятии решений в Мексике, оказываются короче, чем в более развитых странах.

Список весьма внушительный, но большинство пунктов из него в модель не вошли и ни в списке, ни в модели не упоминаются.

1. Физические ограничения. Добыча не ограничена запасами ресурсов, производство кофе не привязано к площади кофейных плантаций, сельское хозяйство в целом не испытывает недостатка в воде или землях. (Достаточно подробных данных для того, чтобы описать сектор производства с точки зрения доступности ресурсов, у разработчиков просто не было[15].)
2. Переменные, описывающие состояние окружающей среды (эрозия почв, засоление, загрязнения).
3. Социальные факторы: образование, общественные ценности, социальные нормы, влияющие на распределение доходов, демографические подвижки, производительность труда.

Отсутствие этих параметров легко объяснить. Все они — долговременные факторы, которые вряд ли будут существенно меняться в течение 5-летнего временно́го диапазона модели. Из имеющихся данных ни один из этих факторов легко не определяется, в особенности если в стране происходит быстрый экономический рост.

Модель MexicoV описывает сельскохозяйственный сектор довольно поверхностно. Рассмотрены только те культуры, посев которых имеет коммерческое значение. С этих же позиций оценивается и общее производство в сельском хозяйстве. Не учитываются такие важные факторы, как обрабатываемая земля, рабочие руки, вода, химические удобрения и т. п.

В модели очень много внешних переменных. Все, что влияет на принятие решений правительством, на политику, отнесено к внешним факторам. Кампания по выборам президента, обустройство дорог (без этого нет туризма), международные цены на хлопок, даже почасовая оплата труда в США (влияющая на привлекательность трудовой миграции) — все это в модели описано как внешние факторы. Даже некоторые переменные, присущие собственно мексиканской экономике, в модели заданы извне — внутреннее потребление, внутреннее производство меди, хлопка, свинца, цветных металлов. Некоторые из этих параметров можно превратить во внутренние, если добавить в усовершенствованную систему матрицу «затраты-выпуск» и внести изменения в структуру. Бельтран дель Рио также заявил, что в последующих версиях модели попытается сделать функцию роста численности внутренней[16].

На рис. 11.1 показана диаграмма границ модели MexicoV. Количество и важность внешних переменных делают ключевым элементом модели самого разработчика — модель определяется его личным выбором. По мнению Бельтрана дель Рио, хороший экономист, работающий с плохой моделью, добьется лучшего результата, чем плохой экономист с хорошей моделью[17]. Судя по всему, давать с помощью модели MexicoV сбывающиеся прогнозы можно только в том случае, если с ней работает человек, досконально разбирающийся еще и в мексиканской политике и экономике. Только тогда можно более или менее точно предсказать будущие объемы импорта, экспорта, результаты президентских выборов и другие внешние показатели.

11.5. Структура

Сердце модели MexicoV составляют петли обратных связей, описывающие рост, который инициируется спросом (см. рис. 11.2). Увеличение потребления в частном секторе (происходящее из-за того, что население в модели экспоненциально растет) приводит к росту совокупного

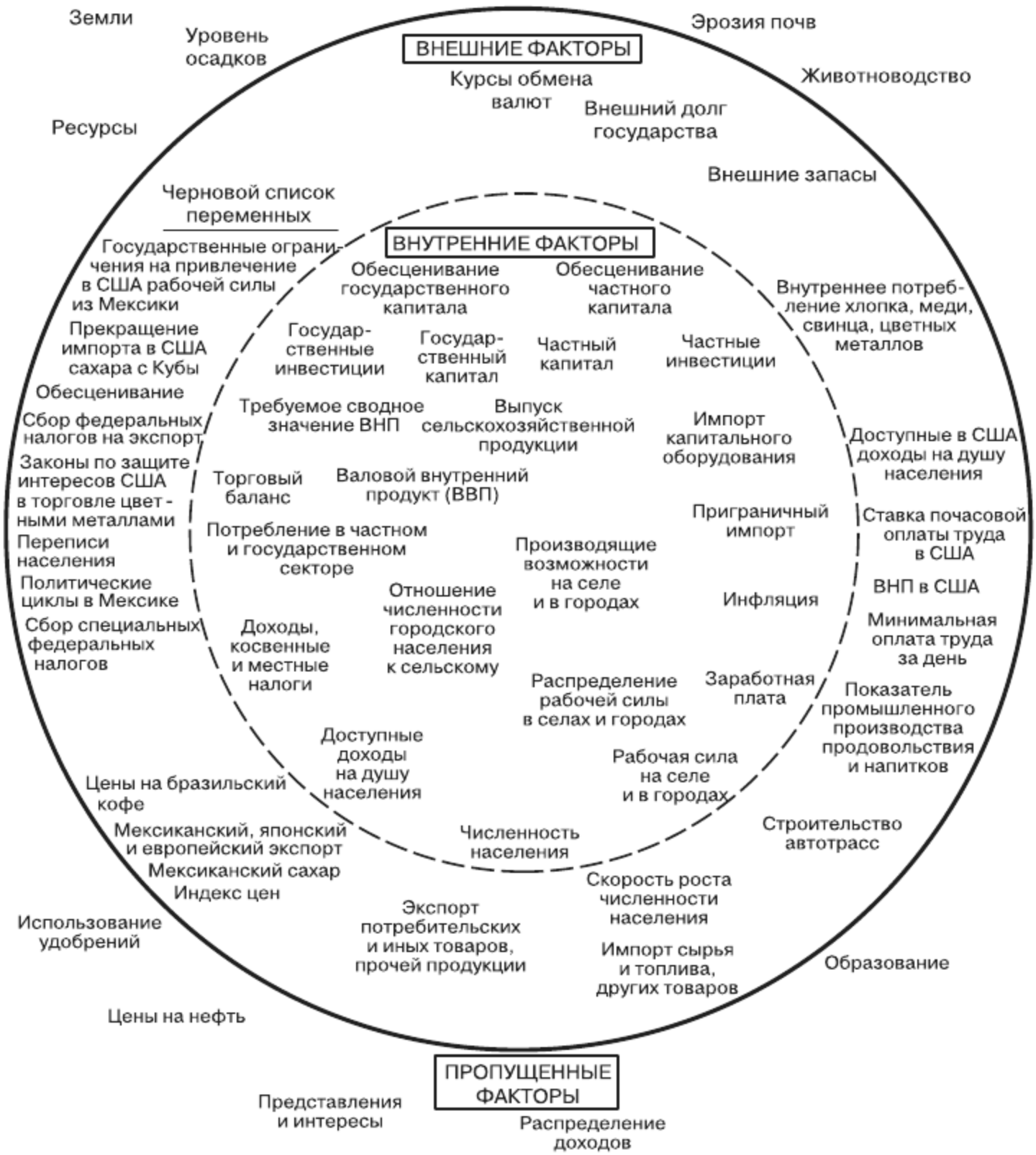


Рис. 11.1. Границы модели MexicoV

спроса (по определению равного сумме потребления и инвестиций). Более высокий совокупный спрос означает, что ВНП станет больше. Увеличение ВНП ведет к росту национального дохода; доступные душевые доходы будут выше, если ВНП растет быстрее, чем численность населения. Душевой доход вызовет дальнейший рост потребления в частном секторе. Подобная последовательность имеет место и в секторе государственного потребления: растет потребление, увеличивается спрос, становится выше ВНП, больше национальный доход и, соответственно, налоги на доходы. Последние — часть национальной системы налогообложения, и по цепочке это вызовет дальнейший рост государственного потребления.

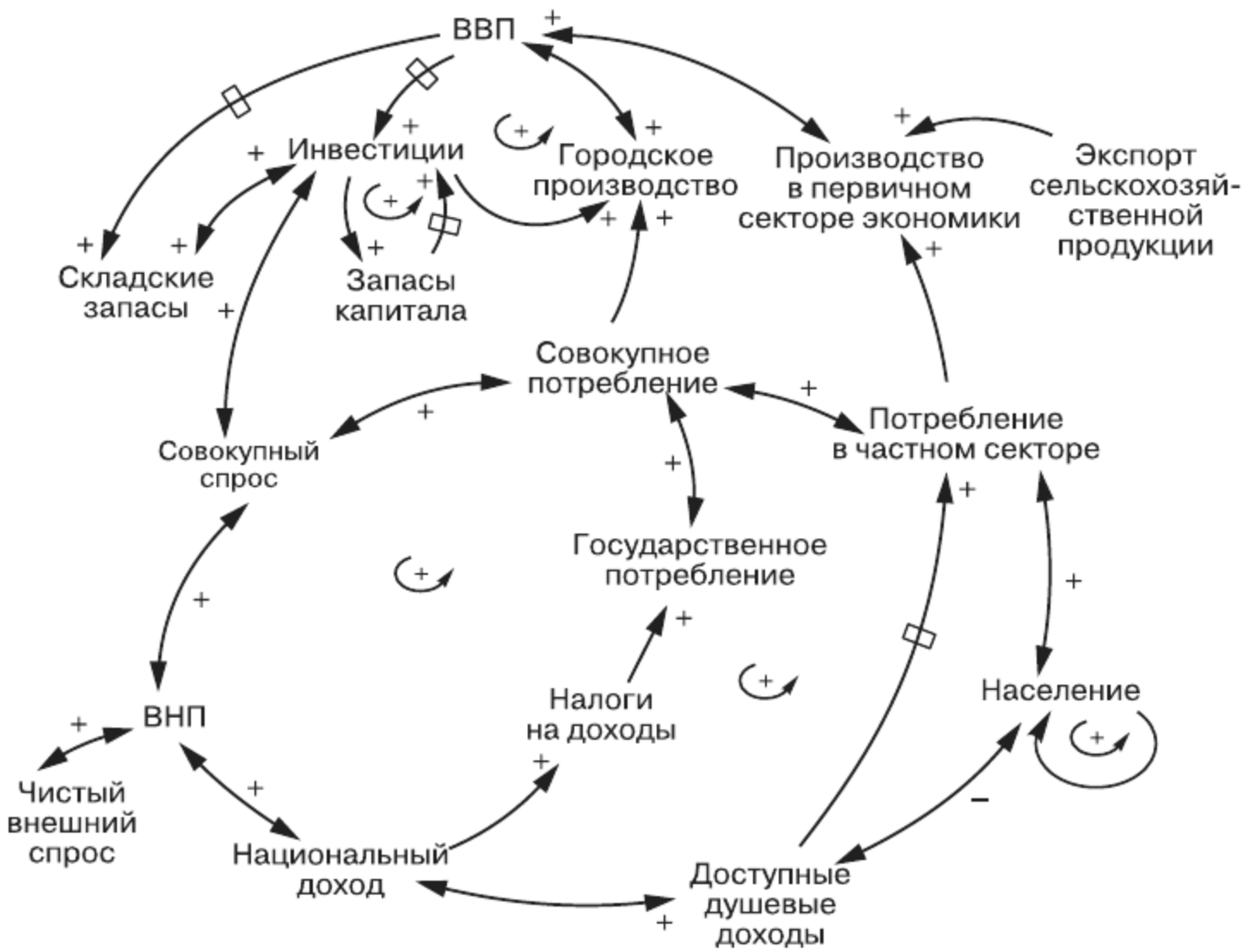


Рис. 11.2. Циклы роста в модели MexicoV

Потребление и экономический рост подгоняют друг друга — все показанные на рис. 11.2 положительные петли обратной связи участвуют в этом. Но в модели **MexicoV есть не только рост (см. рис. 11.3). Увеличение** выпуска имеет побочный эффект — он приводит к более высокой степени использования активов и росту зарплат[18]. Более высокие зарплаты запускают механизм инфляции, который раскручивается подобно спирали. Покупательская способность денежных средств при этом уменьшается. Другими словами, положительные обратные связи, описывающие экономический рост, стремятся увеличить и влияние инфляции, а она в свою очередь уменьшает реальный экономический рост. Раскручивание роста подстегивает инфляцию еще и потому, что увеличение ВВП приводит к повышению косвенных налогов, а из-за этого растут цены.

В модели есть и другие факторы, которые тоже способны ограничивать рост:

1) с увеличением численности населения уменьшается доход на душу населения;
2) растущие доходы и потребление в частном секторе приводят к увеличению импорта потребительских товаров, что ухудшает торговый баланс и уменьшает ВНП;

3) с ростом инвестиций увеличивается импорт капитального оборудования, что ухудшает платежный баланс.

В модели есть также структуры, ответственные за описание безработицы, миграционных процессов, импорта, экспорта. Два последних фактора практически полностью описываются внешними переменными; в модели они влияют только на скорость роста ВНП. Миграционные процессы и изменения в рабочей силе, напротив, управляются внутренними переменными (см. рис. 11.4).

Экономический рост ведет к увеличению инвестиций и накоплению капитала. Капитал в городской зоне рассчитывается как доля от суммарного капитала по функции, полученной благодаря статистическим методам. Остальной капитал относится к сельским районам. Оба капитала определяют производящие возможности городских и сельских районов, в том числе и производительность на одного работника. Разница в производительности стимулирует миграцию из сельских районов в городские. Поскольку из-за этого количество рабочих рук на селе уменьшается, а в городах растет, это уменьшает разницу между ними в потенциальной производительности труда.

Одновременно с этим меняется распределение рабочей силы, а рост численности населения увеличивает количество рабочих рук и в городах, и на селе (модель предполагает для них одинаковую скорость роста). Эти процессы стремятся уменьшить потенциальную произво-



Рис. 11.3. Связи, препятствующие росту в модели MexicoV

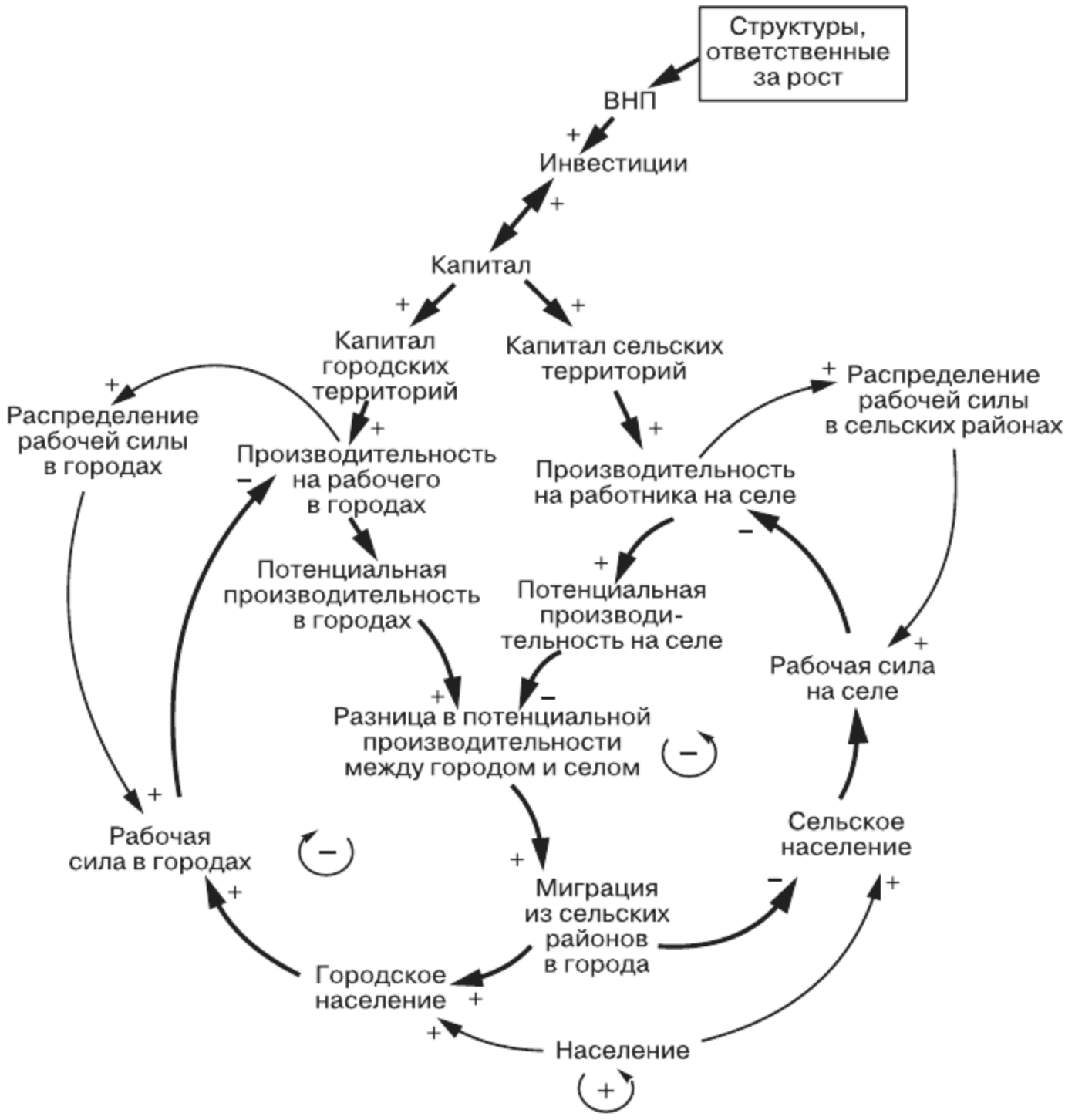


Рис. 11.4. Демографические процессы в модели MexicoV

дительность труда на городских и сельских территориях, в то время как формирование капитала пытается ее увеличить.

На рис. 11.5 показана структура для сравнения, которую мы попытались построить для модели MexicoV. Ее строение соответствует ранее описанным имитационным моделям, однако не очень точно описывает систему MexicoV, **потому что эконометрические модели не предназначены** для отражения причин и следствий. Например, в модели рассчитывается величина капитала, но она никак не влияет на производство. Факторы, которые от нее зависят, — производительность труда и миграция. При этом они определяются только с информационными целями и больше ни на что не влияют. Элемент, описывающий распределение произведенной продукции, в данной модели вообще не имеет смысла, потому что выпуск автоматически определяется через спрос

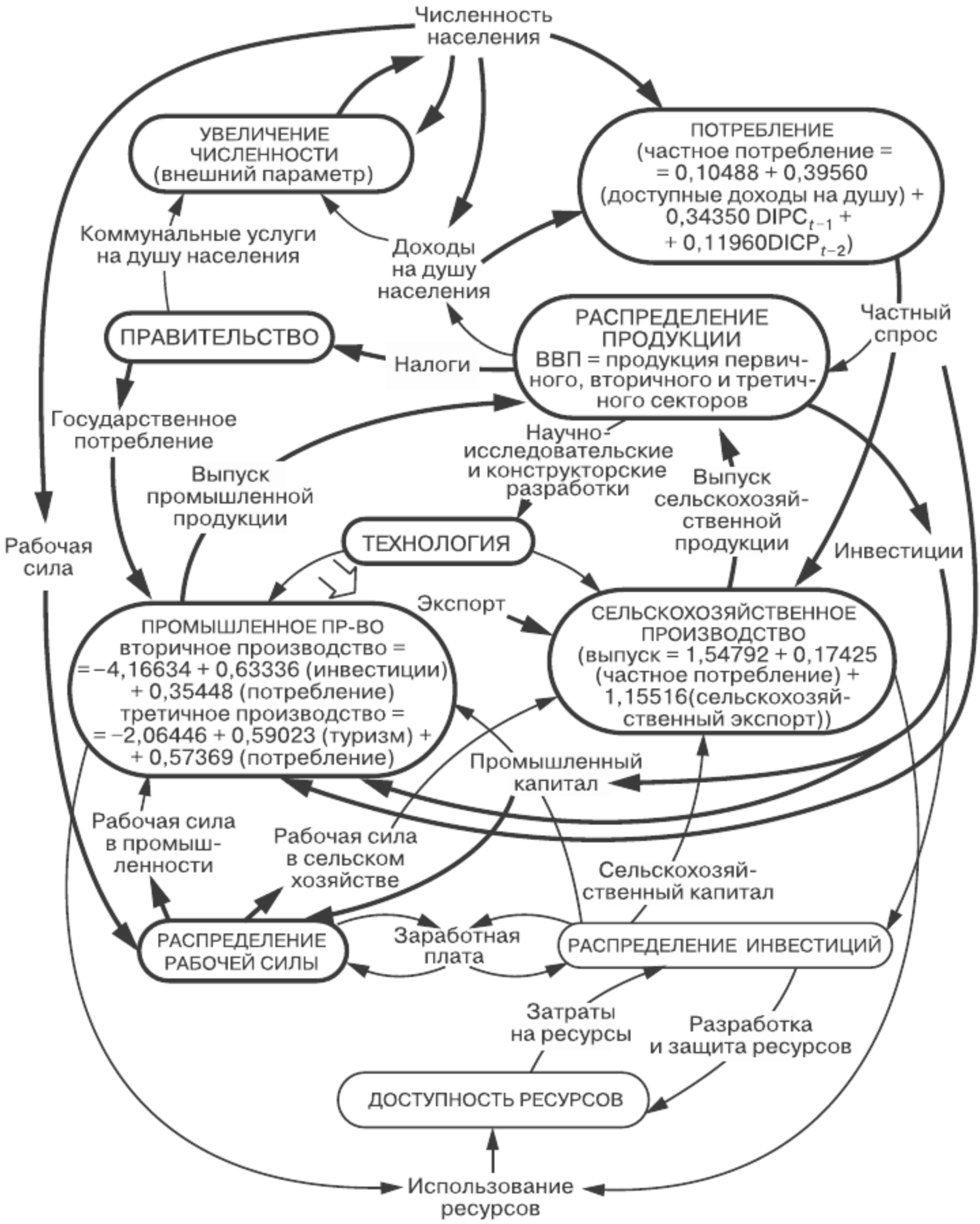


Рис. 11.5. Структура для сравнения, построенная для модели **MexicoV. Элементы**, взятые в толстые рамки, и связи, отмеченные жирными стрелками, включены в модель. Остальные элементы и связи в модели отсутствуют и показаны для сопоставления

(потребление плюс инвестиции плюс экспорт). Как только продукция произведена, из системы она «исчезает». Выпуск продукции характеризуется двумя показателями: ВНП и ВВП. Они рассчитываются по независимым формулам и формально вообще не связаны. В системе не заложена проверка их соответствия друг другу. Также в модели MexicoV **нет взаимных влияний между выпуском продукции и капиталом** или рабочей силой, между импортом энергии и изменением промышленного производства.

Связи между переменными в модели MexicoV действительно есть, многие коэффициенты взяты из реальной экономики (в ней на самом деле даже больше связей, чем вошли в систему). С точки зрения разработчика структурных моделей, **MexicoV, как и любая эконометрическая** модель, представляет собой некую мешанину косвенно связанных переменных, и прорехи между ними прикрыты статистическими заплатками. Их так много, что в итоге получается лоскутное одеяло. Несмотря на то что модель состоит из таких кусочков, в целом, возможно, она довольно точно повторяет очертания реальной системы. Для краткосрочного прогнозирования (ради чего создавалась модель) большего и не требуется.

В той мере, в какой вообще удается проанализировать структуру MexicoV, **можно сказать, что модель управляется положительной об**ратной связью. Этого и следовало ожидать — ведь связи статистически определялись по данным, которые получены в период экономического роста. Экономика росла быстро, потому что положительные обратные связи были сильнее, чем отрицательные. Регрессионный анализ в такой ситуации может выявить даже больше положительных обратных связей. Вероятно, для краткосрочных прогнозов доминирование положительных петель можно просто принять как данность. Если модель будет в долгосрочной перспективе периодически обновляться, то изменение в характере и силе связей отразится на входных данных. Во всяком случае, изменения будут скорее плавными, чем резкими.

11.6. Данные

Бельтран дель Рио приводит в документации все данные, на которых он строил модель. Материалы показывают, что бóльшая часть данных, из которых выводились уравнения, относится к периоду 1948—1970 гг. Таблицы со значениями не снабжены ни комментариями, ни словесным описанием, и определить источники конкретных цифр невозможно. Тем не менее в библиографии приведен внушительный список официальных статистических источников Мексики — именно на них строилась диссертация автора модели. Порой встречаются пометки о пропусках в данных (например, в версии 1969 г. недостаточно

официальной информации о частном потреблении, инвестициях и изменениях в наполняемости складов); все это свидетельствует о том, что сбор данных был непростой задачей. Встречаются и пометки, гласящие, что из-за недостаточности информации некоторые связи установить не удалось. И хотя Бельтран дель Рио и Клейн заявляли, что главной целью было показать использование ограниченных наборов данных для эконометрического моделирования[19], тем не менее описания специальных методов обработки данных для таких случаев в материалах нет.

11.7. Тестирование

Модель MexicoV проверяли при помощи специально созданной серии тестов. Разные наборы отдельных гипотетических связей проверялись и сопоставлялись с эмпирическими данными о мексиканской экономике. Результаты статистических тестов проверялись на соответствие мысленным моделям разработчика и его клиентов (т. е. выяснялось, дают ли измерения ожидаемые результаты и правдоподобны ли значения коэффициентов). Те гипотетические связи, что лучше всего сходились с фактическими данными и мысленными моделями, включали в состав модели, остальные — нет.

Когда модель уже была готова, проверялось, будет ли она воспроизводить поведение переменных в тот период, по которому коэффициенты были определены — любая система, если в ней нет технических ошибок, должна с легкостью пройти такую проверку. Затем тестировалось воспроизведение прошлых периодов, предшествующих тем, на основе которых создавалась модель. На этом этапе проверялись варианты структуры, от **MexicoI до MexicoV, а позже к списку добавились** еще и MexicoVI и MexicoVII. После того как итоговая модель прошла все эти тесты и продемонстрировала приемлемые результаты, ее стали использовать как инструмент прогнозирования.

Кроме строго научных тестов Бельтран дель Рио провел еще и неформальное тестирование, как он сам говорил: «Я пробовал поиграться с моделью и так, и эдак, всеми возможными способами, и смотрел, как она отреагирует»[20]. Расчет запускали на продолжительные временны́е периоды, с крайними значениями внешних переменных. Эти прогоны модели не отражены в документации, поэтому нельзя сказать, насколько система чувствительна к внешним переменным. А вот результаты формальных статистических тестов задокументированы полностью. Коэффициенты в уравнениях определялись с точностью до шести, а то и семи знаков после запятой. Каждое уравнение оценивалось с помощью четырех статистических показателей.

К моменту, когда Бельтран дель Рио закончил писать диссертацию, прошло уже два года из того периода, для моделирования которого была создана модель. Появилась возможность сравнить результаты расчетов с фактическими данными. Такое сопоставление описано в документации в нескольких словах[21]; в целом модель показала правильное направление изменения переменных, но не совсем точно описала величину этих изменений. Некоторые параметры приведены для сравнения в табл. 11.1. Сам Бельтран дель Рио объяснял расхождение тем, что недооценил воздействие Эчеверриа и его методов управления на экономику.

Таблица 11.1

Переменная	Год	Фактическое значение, %	Расчетное значение, %
Рост выпуска продукции	1971	3,7	5,7
	1972	7,2	6,8
Рост инфляции	1971	4,9	3,7
	1972	4,2	4,9
Изменение % на формирование государственного капитала	1971	–14,4	0,96
	1972	74,1	10,5

11.8. Выводы

Бельтран дель Рио предложил три группы заключений о модели MexicoV, начиная с самых общих и заканчивая наиболее конкретными формулировками:

1) заключения о процессе моделирования;
2) заключения об экономической структуре мексиканской экономики;
3) заключения об экономических условиях в Мексике в ближайшие годы.

Что касается первой группы выводов, то главный вклад автора MexicoV состоит в том, что он попытался формализовать эконометрическим методом классическую экономическую теорию, кейнсианскую и марксистскую. Это позволило заключить, что «чисто теоретические усилия приводят к появлению нереалистичной модели; должны главенствовать эмпирические методы, а не теоретические»[22]. Ни одна из макроэкономических теорий не показала себя пригодной на 100%,

но из каждой можно было позаимствовать отдельные фрагменты, чтобы в сочетании с эмпирическими данными о мексиканской экономике можно было построить модель, способную делать прогнозы.

Во второй группе выводов описывается структура модели MexicoV и перечисляются заложенные в нее предположения.

1. Подробные данные о балансе импорта/экспорта имеют критическое значение для развития экономики (к этой области относятся 50 из 143 уравнений модели).
2. Шестилетний президентский срок приводит к цикличности в экономическом поведении правительства и отражается на состоянии экономики как целого (переменные, определенные в год президентских выборов, влияют на частные инвестиции).
3. Изменения в наполняемости складов зависят от изменений в индексе цен и ВВП. Они не являются прямой функцией от размеров склада или уровня потребления, величины зарплат и распределения доходов.
4. Доля населения, живущего в городах, изменяется довольно медленно, зависит от разницы между производительностью в городской и сельской зоне, при этом у функции есть запаздывание.

Бельтран дель Рио четко указывает области, в которых считает собственные структурные представления слабыми[23], и приводит в диссертации список принципиальных вопросов, на которые еще только предстоит найти ответ. Они затрагивают монетарную систему Мексики, распределение предложения и спроса, величину инвестиций по различным секторам экономики и в особенности распределение доходов — область, где наблюдается огромное неравенство.

Третья группа заключений описывает поведение экономики в случае двух принципиально разных политических сценариев. Первый из них — так называемая медленная гипотеза — говорит, что в ходе полного президентского срока, начиная с декабря 1970 г., будут соблюдаться меры строгой экономии, власти будут контролировать инфляцию и баланс бюджета. Основные средства управления в этом случае — финансовые ограничения, более медленный рост внутреннего кредитования и внешнего долга, контроль над импортом[24]. Второй сценарий — быстрая гипотеза — предполагает, что с 1972 г. все силы Министерства национального благосостояния будут приложены к тому, чтобы обеспечить максимальную занятость и экономический рост. Средства для этого противоположны первому сценарию — снятие финансовых ограничений, смягчение кредитной политики, однако при этом должно сохраняться регулирование цен, и импорт останется под контролем государства[25].

Хотя большинство результатов автор приводит в табличной форме, в работе не придается большого значения точности приводимых цифр — их не следует воспринимать как истину в последней инстанции. Полученные величины всегда округляются, а в словесном описании упор делается на тенденции, а не численные значения[26].

Поведение системы в условиях двух сценариев будет в чем-то схожим, а в чем-то разным[27].

1. В 1971 и 1972 гг. в обоих сценариях будет наблюдаться замедление роста, которое затем сменится оживлением и последовательным улучшением платежного баланса.
2. После 1973 г. поведение становится разным. Медленная гипотеза приводит к росту ВВП на 6—6,5%, быстрая — на 7—7,5%.
3. Медленный рост позволяет уменьшить внешний дефицит, быстрый рост только увеличивает его.
4. Медленный рост уменьшает инфляцию, быстрый приводит к тому, что ее темпы сохраняются такими же, как в 1970—1971 гг.
5. Медленный рост увеличивает долю незадействованных производственных активов, быстрый рост держит эту величину неизменной.

При этом ни один из сценариев не оказывает существенного влияния на распределение доходов, уровень безработицы и темпы миграции[28].

11.9. Требования к компьютеру

Модель MexicoV написана на Фортране. После того как все коэффициенты определены, один прогон, охватывающий 6 лет, занимает с десяток минут и финансово обходится недорого[29].

11.10. Реализация

Результаты расчетов модели **MexicoV регулярно доставлялись всем пятидесяти** с лишним спонсорам работ, а также открыто публиковались в мексиканской прессе для широкой аудитории. Модель создавалась для того, чтобы показать, как будет вести себя система в ближайшем будущем, а не для того, чтобы рекомендовать те или иные программы, поэтому она и не использовалась как инструмент для выбора стратегии. Сложно даже сказать, в какой области потенциально можно применить модель, кому она может предоставить ценные результаты и как их можно использовать. Тем не менее есть некоторые призна-

ки, из которых следует, что модель все-таки оставила след в истории. Некоторые из финансировавших проект организаций были настолько впечатлены результатами моделирования, что начали использовать полученные прогнозы в качестве внешних данных для собственных моделей. Кроме того, в описании мексиканской экономики модель стала практически монополистом — других весомых источников экономических прогнозов нет, так что нет ничего удивительного в том, что MexicoV завоевала большую популярность. Наконец, модель позволила привлечь внимание лиц, принимающих решение в Мексике. Бельтран дель Рио пользуется репутацией знающего специалиста, его уважают и в бизнес-кругах, и во власти. Более того, он выступает с докладом и печатает статьи, четко и понятно выражая свои идеи, представляя результаты, во всем опираясь на практику, — это производит очень хорошее впечатление на слушателей.

11.11. Документирование

Диссертация Бельтрана дель Рио насчитывает без малого 600 страниц, в ней подробнейшим образом описывается модель MexicoV. Несмотря на объемность, ее вполне можно использовать как исходную документацию для работы. Материал излагается упорядоченно, с разбивкой на главы и подразделы, с аккуратно подобранными таблицами и рисунками, полным алфавитным указателем, систематизированными и логичными сокращенными обозначениями, упорядоченными и четко оформленными уравнениями. Все это очень помогает читателю.

Автор не только описывает в диссертации модель и причины ее разработки, но и рассказывает о реальной мировой ситуации на тот момент. Взаимосвязи, которые модель MexicoV оценивает численно, в первую очередь были описаны на качественном уровне, причем в тексте приводилась информация о прошлых данных для связей и о текущем положении дел. Материал дает настолько живое представление о реальном мире в то время, что это, пожалуй, самое подробное и точное описание окружающей ситуации для модели, какое нам только встречалось.

Материалы модели MexicoV приводятся не только в диссертации Бельтрана дель Рио[30]. В регулярных отчетах спонсорам содержатся прогнозы, которые каждый раз рассчитывались по обновленным данным. После того как модель использовали в течение пяти лет в качестве инструмента для прогнозирования, вышла подробнейшая статья на испанском языке, в которой перечислены и положительные примеры применения, и все сложности и ошибки, допущенные за этот период[31].

Как уже было сказано, документация на модель MexicoV представляет собой один из лучших примеров правильного оформления и со-

держания. Сравниться с ней может только документация Пикарди на модель SAHEL — тоже, кстати, оформленная в виде диссертации. У системы **MexicoV есть дополнительное преимущество — ее финансирование** не прекращалось после разработки (между первым применением модели для прогнозирования и завершением диссертации Бельтрана дель Рио прошло два года). Подготовить грамотно составленную документацию автору позволили научный подход, достаточное время для подготовки и внесения поправок, а также заинтересованность целевой аудитории — представителей бизнеса и политики.

Ссылки на источники

[1] *Beltran del Rio A.*, *Klein L.R.* Macroeconomic Model Building in Latin America: the Mexican Case: перепечатка из отчета: The Role of the Computer in Economic **and Social Research in Latin America. Conference Report of the National** Bureau of Economic Research. New York: Columbia University Press, 1974.

[2] *Beltran del Rio A.*, информация получена в частной беседе.

[3] Ранее упомянутый источник: *Beltran del Rio A.*, *Klein L.R.*, с. 190.

[4] *Beltran del Rio A.* **A Macroeconometric Forecasting Model for Mexico: Specification** and Simulations. University of Pennsylvania Ph.D. Thesis, 1973. С. 7 (материал диссертации хранится в библиотеке микрофильмов Университета Пенсильвании).

[5] Там же, с. xxxiv.

[6] Там же, с. 418.

[7] Там же, с. 29—45.

[8] Там же, глава IV, с. 167—190.

[9] Там же, глава V, с. 191—249.

[10] Там же, с. 261.

[11] Там же, с. 342—343.

[12] Ранее упомянутый источник: *Beltran del Rio A.*, *Klein L.R.*, с. 169.

[13] Ранее упомянутый источник: *Beltran del Rio A.*, с. 427, а также информация, полученная в частной беседе.

[14] Ранее упомянутый источник: *Beltran del Rio A.*, с. 281—282.

[15] *Beltran del Rio A.*, информация получена в частной беседе.

[16] Ранее упомянутый источник: *Beltran del Rio A.*, с. 358.

[17] *Beltran del Rio A.*, информация получена в частной беседе.

[18] Подобный эффект частично ограничивается тем, что увеличение ВВП приводит к более быстрому формированию капитала, что влечет за собой снижение доли использования производящих активов.

[19] Ранее упомянутый источник: *Beltran del Rio A.*, *Klein L.R.*, с. 190.

[20] *Beltran del Rio A.*, информация получена в частной беседе.

[21] Ранее упомянутый источник: *Beltran del Rio A.*, с. 413—416.

[22] Там же, с. 420.

[23] Там же, с. 423.

[24] Там же, с. 370.

[25] Там же, с. 422.

[26] Там же, с. 422.

[27] Ранее упомянутый источник: *Beltran del Rio A.*, *Klein L.R.*, с. 183.

[28] Там же, с. 189—190.

[29] *Beltran del Rio A.*, информация получена в частной беседе.

[30] См., например, ранее упомянутый источник: *Beltran del Rio A.*, *Klein L.R.*

[31] *Beltran del Rio A.* Media Década de Proyección Econométrica para México: Análisis de Errores de Predicción. Wharton EFA, Philadelphia, September 1975.

12
ГЛАВА

CHAC: оптимизация сельского хозяйства в Мексике

12.1. Организационные вопросы

Система CHAC — составная часть эксперимента, который проводили Всемирный банк и правительство Мексики в надежде выяснить, насколько иерархическое линейное программирование пригодно для государственного планирования. Кроме CHAC в проект вошли еще две разработки: **DINAMICO — обширная экономическая модель, ENERGETICOS** — имитационная модель энергетического сектора. Система CHAC описывала ведение сельского хозяйства в стране и учитывала различные виды посевных культур — модель даже получила в качестве названия имя бога дождя у древних майя. Все три модели основаны на методе оптимизации. Системы **DINAMICO и ENERGETICOS — динамические**, т. е. их оптимизация проходит по времени. Модель **CHAC статична** и отображает сельскохозяйственные виды деятельности за год.

Эти модели предполагалось иерархически связать между собой, чтобы вместе они отражали взаимное влияние аграрного сектора и энергетической отрасли в рамках всей экономики страны. Однако из-за внутренних противоречий и несоответствий сделать этого не удалось.

В этой главе мы рассмотрим только модель CHAC, самую большую, дорогую и, вероятно, самую продвинутую из трех[1]. Мы выбрали ее не только из-за размера и необычности, но и потому, что ее впоследствии использовали чиновники Всемирного банка и мексиканское правительство отдельно от двух других систем.

С самого начала работ (1969 г.) проект **CHAC был совместным детищем** Всемирного банка, Министерства управления Мексики* и Мекси-

---

* Министерство управления Мексики (Secretaría de la Presidencia de la República) было создано президентом Адольфо Лопесом Матеосом в 1958 г. и отвечало за планирование и разработку экономической стратегии в масштабах страны. На момент написания книги министерство носило исходное название, однако в последующие годы этот орган управления неоднократно переименовывали и присоединяли к другим государственным структурам. В 1992 г. все его функции были переданы Министерству финансов и государственного кредита (Secretaría de Hacienda y Crédito Público).

канского банка. Правительство страны и руководство национального банка не только обеспечивали проекту финансирование и снабжали разработчиков данными, но и оказывали профессиональную помощь при создании модели[2].

Система СНАС была готова для полномасштабных экспериментов в 1971 г. На следующий год разработчики из Всемирного банка начали сотрудничать с Министерством управления Мексики для того, чтобы показать, как можно использовать модель, и предложить ее мексиканскому правительству в качестве инструмента для разработки стратегий и программ. Правительство Мексики и Всемирный банк продолжали использовать и дорабатывать модель до 1974 г., после чего были официально вышел из проекта. Система осталась в Мексике на попечении специально созданной комиссии — на нее возложили обязанности по координации программ и проектов, так или иначе связанных с сельским хозяйством, которые вели различные агентства. Создание такой комиссии в какой-то мере вдохновлялось результатами, которые показала модель СНАС: благодаря ей удалось продемонстрировать взаимную зависимость между различными решениями и мерами, которые принимаются в сельском хозяйстве[3].

12.2. Цели

Начальная цель модели СНАС для сельского хозяйства состояла в том, чтобы формализовать главные аспекты принятия решений на микроуровне и по секторам. Было запланировано секторное исследование; оно должно было служить интересам мексиканского правительства и предоставить ему аналитические средства для разработки секторной политики. Учитывались и интересы Всемирного банка — ему была необходима методика для оценки различных проектов и подходы к разработке моделей для планирования[4].

Другими словами, у модели было два заказчика. Одним было правительство Мексики, разрабатывавшее сельскохозяйственную политику (государственные вложения в обработку земель, сельскохозяйственные исследования, регулирование цен на продукцию сельского хозяйства, внешняя торговля, внутренние ограничения на землевладение) в надежде улучшить экономическое положение страны. Другой клиент — Всемирный банк, который хотел оценить влияние инвестиций, сделанных в конкретный проект (постройка плотины, бурение скважины, создание сети каналов), и сравнить его с результатами вложений в другие виды деятельности. Для первого клиента важны программы в масштабах всего аграрного сектора страны, в то время как для второго — локальные цели и результаты вложений в их дости-

жение. При этом обеим сторонам было важно установить последствия от их деятельности на локальном уровне и в экономике в целом.

Модель СНАС разрабатывали таким образом, чтобы «миновать ловушки, характерные для традиционного подхода к планированию в сельском хозяйстве»[5], когда для каждого вида продукции устанавливается отдельная норма выпуска, а затем определяются количества удобрений, земель, рабочей силы и других ресурсов, необходимые для достижения всех этих целей. Система **СНАС использовала противоположный подход**[6].

1. В модели допускалось обобщение отдельных видов продукции в сводные показатели по сектору, и результаты программ определялись не по выполнению норм на каждый вид товара, а по достижению общесистемных целей — например, заданного уровня занятости.
2. Модель определяла варианты эффективного распределения ресурсов по всему аграрному сектору, что могло потребовать увеличения производства одного вида продукции и уменьшения другого, изменения закупочных цен и тому подобных мер. По этой причине все виды ресурсов и товаров необходимо рассматривать одновременно.
3. Модель учитывала принципиальное ограничение — платежный баланс. Для этого могло потребоваться определенное соотношение внутреннего производства с импортом того или иного вида товара.
4. В модели предусмотрены возможности замещения одних культур другими с учетом как предложения, так и спроса.

По словам самих разработчиков модели **СНАС, она призвана решать** вопросы ценообразования, торговли, программ занятости и распределения инвестиций по определенным областям. При этом она не очень подходит для анализа аграрных исследований и программ расширения сельского хозяйства, не рассматривает вопросы страхования аграрной деятельности и посевов, не оценивает кредитную политику[7].

12.3. Методы

Чтобы достичь заявленных целей и удовлетворить обоих заказчиков, команде разработчиков СНАС пришлось построить модель, в которой содержались бы и локальные параметры, и общие для всей экономики показатели. Этого удалось добиться, включив в модель географическое распределение. Оно реализуется через 20 подсистем, каждая

из которых описывает отдельный климатический район Мексики. Все 20 районов объединены в четыре географических области, из которых собирается сельскохозяйственный сектор страны в целом. Модель CHAC, таким образом, содержит три уровня, и ее предполагалось связать с моделью всей экономики DINAMICO, чтобы получить целостное представление на всех иерархических уровнях, начиная с решений, принимаемых локально, и заканчивая поддержанием внешнего торгового баланса. К сожалению, последней цели добиться полностью так и не удалось. Модели CHAC и DINAMICO использовались по отдельности, а полученные результаты каждой из них затем подавались на вход в другую вручную, после обработки специалистами[8].

Система CHAC — поведенческая имитационная модель, описывающая, как фермеры и потребители реагируют на те или иные программы, как используют различные ресурсы, как откликаются на изменение цен в данный конкретный год. Модель основана на линейном программировании, однако процедура оптимизации используется не в традиционном виде, не для выбора факторов, которые максимизировали бы значение четко определенной целевой функции. Вместо этого оптимизация применяется как математический инструмент для отображения поведения рынка, на котором царит конкуренция.

Как и все оптимизационные модели*, система CHAC состоит из следующих элементов.

1. Переменные, описывающие принятие решений по видам деятельности или варианты решений. Неизвестные — те значения в модели, для поиска которых она создавалась.
2. Ограничения — условия, которые накладываются на переменные.
3. Целевая функция — значение, которое необходимо минимизировать или максимизировать за счет изменения переменных в диапазонах, которые допускаются ограничениями.

В модели CHAC переменные описывают решения о производстве продукции, которые принимают фермеры; спрос, формируемый потребителями; решения о доступности рабочей силы, земель, а также всех 33 видов продукции. Ограничения в модели учитывают мировые рыночные цены (что влияет на принятие решений об импорте и экспорте), рыночное соответствие (для каждой сельскохозяйственной культуры сумма внутреннего производства и импорта должна соответствовать сумме внутреннего спроса и экспорта), кредитовое сальдо, пределы по воде и площади земель, доступности рабочей силы, капитала и других ресурсов.

---

* Характерные черты оптимизационных моделей описаны в главе 2.

Модель **CHAC очень велика и содержит огромное количество элементов**: переменных около 3500, а ограничений — 1500. Решение ищется только для одного года — это может быть какой-то год в будущем, если заданы соответствующие значения параметров.

Целевую функцию разработчики описывают как сумму выгод, получаемых потребителями и производителями, — ее необходимо максимизировать. Смысл этого показателя иллюстрирует рис. 12.1, на нем приведены схематичные кривые предложения и спроса на один и тот же вид товара. Кривые представляют собой сводный результат решений о производстве и потреблении, принятых миллионами человек, занятых в экономике Мексики. Задача модели CHAC — определить, как выглядят эти кривые и в какой точке они пересекаются. Основное предположение модели состоит в том, что производители и потребители в рамках системы действуют независимо, каждый принимает решения индивидуально, но при этом обобщенные показатели описывают сводные выгоды производителей и потребителей — площадь выделенных серым цветом участков (если быть точными, такие диаграммы следует построить для всех 33 видов сельскохозяйственных посевов, а затем просуммировать соответствующие участки серого цвета). Эту площадь необходимо максимизировать. В соответствии с правилами рыночной конкуренции, если площади максимальны, то цены равны предельным затратам, и тогда рынок находится в равновесии.

Целевую функцию можно доработать, чтобы учесть в ней поведение монополистов или внести ограничения, которые государственное управление налагает на свободный рынок, однако обычно модель запускается без них, поскольку разработчики **CHAC полагают, что правила** свободного рынка точнее всего описывают поведение сельскохозяйственной системы Мексики[9].

Объяснение целевой функции, данное на рис. 12.1, — слишком общее в представлении тех, кто не может смотреть на мир с рыночных позиций. В таком случае целевую функцию можно описать как сум-

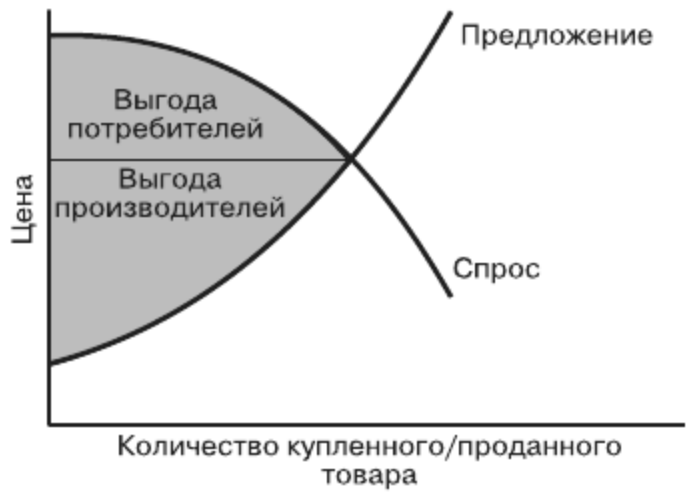


Рис. 12.1. Целевая функция в модели CHAC

му чистых доходов (поступления за вычетом расходов) всего аграрного сектора в целом. Эту сумму необходимо максимизировать (см. рис. 12.2).

Принципиальное требование любой модели, построенной на линейном программировании, состоит в том, что уравнения, описывающие целевую функцию и ограничения, обязаны быть линейными. По этой причине все ограничения модели СНАС имеют линейную форму, как показано на рис. 12.3, и фактически представляют собой баланс по каждому виду сельскохозяйственных культур.

Приведенное выражение гласит, что суммарные внутренние продажи продукции с учетом экспорта не могут превышать суммарное производство с учетом импорта. Потребители не могут приобрести то, что не произведено или не импортировано. Поскольку мы имеем дело с неравенством, обратное вполне возможно — производство может быть больше, чем спрос.

Хотя ограничения и все прочие выражения линейны, это совсем не значит, что модель описывает полностью линейный мир. Например, существует множество видов деятельности X_j (каждому их которых соответствует параметр урожайности Y_j) для каждого вида посевов. Фермер из одного региона может выбирать из 20 различных вариантов выращивания бобовых, причем для каждого требуется разная площадь посевов, удобрений, разное количество рабочих рук, и урожай в результате тоже будет разным. Если все эти соображения

$$\underset{\left[\begin{array}{c}\text{Сумма произведений}\\ \text{цены и требуемого}\\ \text{количества}\\ \text{по всем видам посевов}\end{array}\right]}{\Sigma\omega D} + \underset{\left[\begin{array}{c}\text{Сумма произведений}\\ \text{экспортной цены}\\ \text{и объема экспорта}\\ \text{по всем видам}\end{array}\right]}{\Sigma\rho_e E} - \underset{\left[\begin{array}{c}\text{Сумма произведений}\\ \text{цены на импорт}\\ \text{и объема импорта}\end{array}\right]}{\Sigma\rho_m M} -$$

$$\underset{\left[\begin{array}{c}\text{Суммарные}\\ \text{расходы}\\ \text{на рабочую силу}\end{array}\right]}{\rho_1 SALS} - \underset{\left[\begin{array}{c}\text{Проценты на капитал}\\ \text{на короткие}\\ \text{и долгие сроки}\end{array}\right]}{\rho_k K - \rho_1 CP - \rho_c CP} - \underset{\left[\begin{array}{c}\text{Расходы}\\ \text{на семена}\end{array}\right]}{0{,}1S} - \underset{\left[\begin{array}{c}\text{Расходы}\\ \text{на удобрения}\\ \text{и пестициды}\end{array}\right]}{\Sigma 0{,}1F} -$$

$$\underset{\left[\begin{array}{c}\text{Расходы}\\ \text{на тягловый}\\ \text{скот}\end{array}\right]}{\Sigma\rho_a A} - \underset{\left[\begin{array}{c}\text{Расходы на воду,}\\ \text{подаваемую}\\ \text{самотеком,}\\ \text{и их увеличение}\end{array}\right]}{\Sigma\rho_{wg} W_g - (\Delta\rho_{wg}) W_g} - \underset{\left[\begin{array}{c}\text{Расходы на воду}\\ \text{из скважины}\\ \text{и их увеличение}\end{array}\right]}{\Sigma\rho_{wp} W_p - (\Delta\rho_{wp}) W_p} +$$

$$\underset{\left[\begin{array}{c}\text{Поправка}\\ \text{на разброс цен}\\ \text{по районам}\end{array}\right]}{+ \Sigma\rho_d T_d}$$

(Для функции необходимо найти максимум)

Рис. 12.2. Целевая функция модели СНАС. Для каждого пункта греческий символ обозначает постоянный параметр, большими буквами отмечены переменные

собрать воедино, то фермеру приходится выбирать, сколько видов посевов использовать, на каких площадях и какую технологию при этом применять. В этом случае результат определенно не будет линейным.

На этом этапе разработчики столкнулись с проблемой, касающейся целевой функции. Создатели модели указали в ней все виды культур с ценами на каждую из них, полагая при этом, что спрос зависит от цены. Однако спрос на один вид посевов зависит не только от цены на него, но и от цен на другие виды продукции, которыми можно этот вид заменить (спрос на пшеницу зависит от цен и на пшеницу, и на кукурузу). Если спрос D зависит от цены ω, то первые слагаемые целевой функции уже не линейны, это сложная зависимость, и линейными методами программирования найти максимум невозможно.

Разработчики модели СНАС обошли это препятствие, прибегнув к двумерной линеаризации. Каждую нелинейную кривую спроса аппроксимируют последовательностью линейных участков, каждый из которых связан с постоянной, описывающей цену при этом уровне спроса. Для каждого участка расчеты проводятся отдельно, но зато в этом случае уже можно провести оптимизацию и получить в качестве решения сочетание переменных спроса и предложения. Фактически в высшей степени нелинейное поведение рынка аппроксимируется линейными участками. На такие ухищрения разработчики пошли вынужденно, поскольку осознавали, что в реальном мире взаимосвязи не носят линейного характера, но зато поиск оптимальной точки при линейном программировании выполняется гораздо проще, чем при использовании нелинейных методов.

$$\begin{aligned}
&Y_1 \cdot X_1 + Y_2 \cdot X_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots - \\
&\left[\begin{array}{c}\text{Параметр}\\ \text{урожайности,}\\ \text{производство}\\ \text{по методу 1}\end{array}\right] \cdot \left[\begin{array}{c}\text{Площадь}\\ \text{посевов}\\ \text{по методу 1}\end{array}\right] + \left[\begin{array}{c}\text{Параметр}\\ \text{урожайности,}\\ \text{производство}\\ \text{по методу 2}\end{array}\right] \cdot \left[\begin{array}{c}\text{Площадь}\\ \text{посевов}\\ \text{по методу 2}\end{array}\right] + \left[\begin{array}{c}\text{Аналогичным}\\ \text{образом для}\\ \text{других методов}\\ \text{производства}\end{array}\right] \\
&- \alpha_1 \cdot D_1 - \alpha_2 \cdot D_2 - \ldots\ldots\ldots\ldots + \\
&- \left[\begin{array}{c}\text{Количество}\\ \text{продукции}\\ \text{по запросу}\\ \text{в наборе}\\ \text{культур 1}\end{array}\right] \cdot \left[\begin{array}{c}\text{Спрос}\\ \text{на набор}\\ \text{культур 1}\end{array}\right] - \left[\begin{array}{c}\text{Количество}\\ \text{продукции}\\ \text{по запросу}\\ \text{в наборе}\\ \text{культур 2}\end{array}\right] \cdot \left[\begin{array}{c}\text{Спрос}\\ \text{на набор}\\ \text{культур 2}\end{array}\right] - \left[\begin{array}{c}\text{Аналогичным}\\ \text{образом}\\ \text{для спроса}\\ \text{на другие}\\ \text{наборы}\\ \text{культур}\end{array}\right] + \\
&+ M - E + P \geq 0 \\
&+ \left[\begin{array}{c}\text{Импорт}\end{array}\right] - \left[\begin{array}{c}\text{Экспорт}\end{array}\right] + \left[\begin{array}{c}\text{Поправка}\\ \text{на повышение}\\ \text{урожайности}\\ \text{за счет сельско-}\\ \text{хозяйственных}\\ \text{технологий}\end{array}\right]
\end{aligned}$$

Рис. 12.3. Пример уравнения, задающего ограничения в модели СНАС

Почему разработчики модели **СНАС вообще выбрали линейный метод** для нелинейной системы, а метод оптимизации для цели, которая вовсе не подразумевала оптимизацию? Создатели системы применили статичный и довольно абстрактный метод вместо приближенного к действительности динамического подхода. В документации нет ответа на этот вопрос. Мы можем лишь предполагать, что в этом случае, как и во многих других, метод моделирования был выбран раньше, чем решаемая проблема. Группа линейных программистов увидела шанс по-новому применить свой метод и постаралась сделать это профессионально и качественно, но при этом они не задумывались, пригоден ли такой подход к данной конкретной задаче.

Многие технические и математические сложности в применении линейных методов к нелинейной системе разработчикам удалось искусно разрешить, однако каждый такой ход делал модель все более и более абстрактной, оторванной от реальности и повседневной жизни фермеров и потребителей. Итоговую модель трудно понять, объяснить и оценить. Какое поведение потребителей в нее явно или неявно заложено? Какие меры и какие данные нужны для того, чтобы реальный рынок пришел к равновесию так же, как это делает модель? Будут ли влиять на поведение системы «узкие места» в поставках, неравенство в распределении доходов, объемы запасов в сравнении с прошлым годом? Кто на самом деле устанавливает цены в системе, насколько быстро это происходит и какая информация при этом учитывается?

Фактически модель **СНАС представляет собой схематичное отображение** действительности, построенное с помощью символов и идей, отстоящих очень далеко от реальности. Разработчики используют более формальный и сухой подход, чем это характерно для описываемой системы, и вполне осознают это[10].

12.4. Границы

В модели СНАС используются внутренние переменные, описывающие сочетание методов производства для 33 однолетних сельскохозяйственных культур в 20 географических зонах. Эти культуры занимают основное место в сельскохозяйственном производстве Мексики. Список возглавляет маис, затем хлопок, сахарный тростник... Замыкают его лимская фасоль, чеснок и лен[11]. Для каждой культуры модель рассчитывает объемы производства, спрос, цену, импорт и экспорт (при наличии таковых) и использование ресурсов (сельскохозяйственная техника, тягловые животные, химические удобрения, семенной фонд, заемные средства). Модель рассчитывает потребность в рабочей силе (различаются ее виды, в том числе труд самого фермера, наемный

труд, сезонные работы), оценивает миграцию и уровень занятости. Водные ресурсы различаются по типам в зависимости от используемого источника (каналы, природные поверхностные воды, водохранилища — все учитывается раздельно). Цены на ресурсы, которых может не хватать (вода и обрабатываемые земли), рассчитываются как внутренние переменные; цены на ресурсы, обладающие эластичностью (химические удобрения и капитал), задаются извне. Внешними переменными описываются также цены на мировых рынках на соответствующие виды продукции.

Все внешние параметры представляют собой константы в уравнениях ограничений или в целевой функции — их больше 80 000, и они отображают взаимные влияния между 2345 различными переменными, относящимися к сельскохозяйственным культурам. Контакты в модели можно разделить на три группы:

1) выбор конкретной стратегии или политики;
2) численные параметры, которые, как считают разработчики, зависят от времени и потому подлежат обновлению перед расчетом модели на следующий год;
3) численные параметры, которые разработчики считают постоянными.

Наборы констант, описывающих политики и стратегии, очень велики. В них входят весовые коэффициенты для цен, торговые зависимости, распределение заемных средств, зарплаты, а также параметры, характеризующие размеры фермерских хозяйств. Обновляемые год от года постоянные включают в себя рабочую силу, влияние на урожайность новых технологий, скорость роста ВНП и емкость экспортного рынка по сельскохозяйственной продукции.

Модель CHAC **не затрагивает никакие секторы, кроме аграрного**, и единственное исключение из этого правила — внешний спрос на продукцию сельского хозяйства и цены на промышленные товары, необходимые для ведения аграрной деятельности. Все, что не относится к сельскому хозяйству, включено во вторую модель из общего проекта, **DINAMICO. При этом отображение аграрного сектора в модели** CHAC на самом деле неполное. В нем фигурируют только те сельскохозяйственные культуры, которые обеспечивают быстрый оборот, а животноводство, выращивание фруктов, лесопользование и рыбная ловля исключены. Модель совершенно не учитывает стиль жизни населения, факторы риска, политические соображения, образование, уровень жизни, состояние окружающей среды и погодные условия. Многие из этих исключений сделаны обоснованно, с учетом краткосрочного временно́го диапазона модели. На рис. 12.4 показана граничная диаграмма модели CHAC.

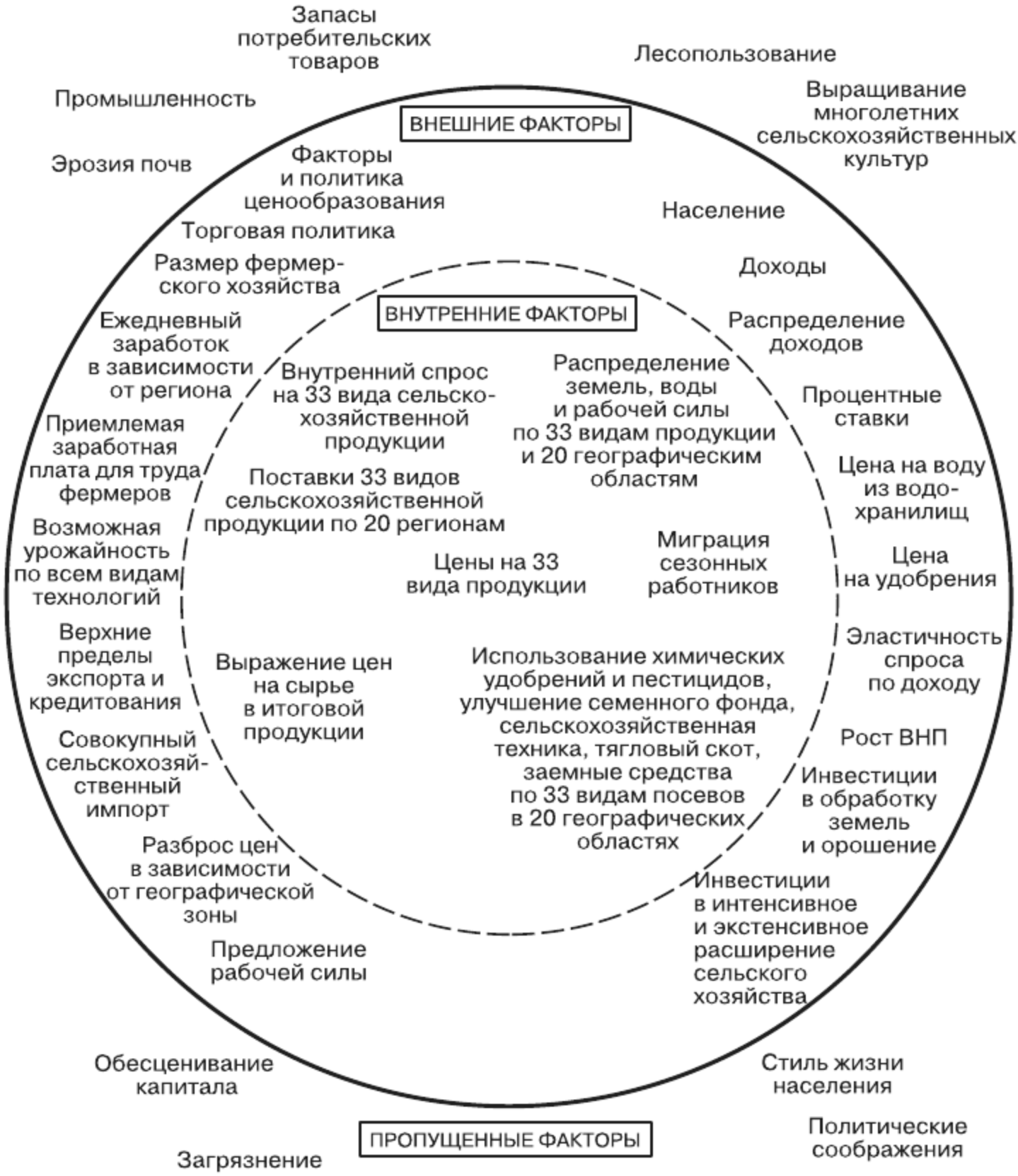


Рис. 12.4. Границы модели CHAC

12.5. Структура

Ограничения в модели CHAC работают на трех уровнях: в 20 областях страны, объединенных в 4 региона, которые в свою очередь составляют страну в целом. С точки зрения программирования иерархического соподчинения между ними нет, поскольку на каждом отдельном уровне оптимизация не проводится — она выполняется в системе как едином целом. Деление на области и регионы нужно только с организаци-

онной точки зрения, поскольку на разных уровнях работают разные ограничения.

Из 33 сельскохозяйственных культур 21 активно участвует в мировой торговле, т. е. может быть частью импорта или экспорта. Для 4 регионов учитываются ограничения по наемной рабочей силе, использованию химических удобрений и тягловых животных. Суммарное количество безземельных работников для каждого региона задается внешними параметрами (владеющие землей работники — фермеры — расписаны по областям, где находятся их угодья). Если в регионе спрос на рабочую силу превышает ее наличие, начинается межрегиональная миграция, при этом различия в доходах по регионам сохраняются.

Ограничения по обрабатываемым землям, воде и количеству фермеров рассчитываются для каждой из 20 областей, поскольку именно на этом уровне принимаются решения. Из 2345 видов деятельности фермеры могут выбирать любые, лишь бы они вписывались в доступные ресурсы и производили необходимый объем продукции. Не все виды деятельности возможны во всех географических зонах. В одной из них, например, фермерам доступны лишь 16 из 251 технологии выращивания кукурузы. Чтобы проиллюстрировать, как модель это учитывает, в табл. 12.1 приводятся две методики выращивания этой культуры. В модель вошли все виды деятельности, методы выращивания и урожайность, наблюдавшиеся в разных зонах страны — это не обязательно биологический максимум или результат применения наилучших технологий.

Таблица 12.1

Пример: два вида сельскохозяйственной деятельности в модели СНАС*

Коэффициенты для производства кукурузы в регионе El Bajío (все данные приведены в расчете на 1 га)		
	Выращивание за счет естественных осадков	**Выращивание с применением искусственного орошения**
Урожай (тонны)	1,2	3,5
Заказанные семена (мекс. песо)	50	55
Удобрения (мекс. песо)	198	615
Пестициды (мекс. песо)	40	78
Прочие затраты (мекс. песо)	44	112
Работа, февраль (человеко-дни)	—	7,0
Работа, март (человеко-дни)	—	12,5
Работа, апрель (человеко-дни)	0,2	10,5

Окончание табл. 12.1

	Выращивание за счет естественных осадков	**Выращивание с применением искусственного орошения**
Работа, май (человеко-дни)	0,6	16,5
Работа, июнь (человеко-дни)	0,8	—
Работа, июль (человеко-дни)	4,2	—
Работа, август (человеко-дни)	7,6	—
Работа, сентябрь (человеко-дни)	1,5	9,0
Работа, октябрь (человеко-дни)	5,5	15,0
Работа, ноябрь (человеко-дни)	3,4	—
Сельскохозяйственная техника (дни использования)	0,07	0,2
Орошение в марте (тыс. $м^3$)	—	1,6
Орошение в апреле (тыс. $м^3$)	—	1,4
Орошение в мае (тыс. $м^3$)	—	1,4
Тягловый скот (дни использования)	—	16,8
Краткосрочные кредиты (мекс. песо)	355	899
Площадь земель, февраль (га)	—	1,0
Площадь земель, март (га)	—	1,0
Площадь земель, апрель (га)	0,08	1,0
Площадь земель, май (га)	1,0	1,0
Площадь земель, июнь (га)	1,0	1,0
Площадь земель, июль (га)	1,0	1,0
Площадь земель, август (га)	1,0	1,0
Площадь земель, сентябрь (га)	1,0	1,0
Площадь земель, октябрь (га)	1,0	1,0
Площадь земель, ноябрь (га)	0,75	—
Управление ресурсами	**	**

* **Примечание:** приведенные цифры не обязательно отражают текущие уровни производства в регионе El Bajío в какой-либо год. В модели много и других вариантов технологий выращивания кукурузы в низинных районах.) Разрешение на публикацию таблицы: *Norton R.D.*

** См. раздел IV в работе L.M. Goreux, A.S. Manne[1], где объясняются вопросы управления ресурсами и приводятся единицы измерения для них.

Чтобы изучить варианты инвестирования и подробно рассмотреть распределение, была разработана отдельная, более проработанная модель для одного низинного района: BAJIO[12]. Она оперирует четырьмя различными типами фермерских хозяйств (большие, маленькие, использующие и не использующие оросительные системы), чтобы описать 5 классов по доходам (с учетом работников, не имеющих собственной земли). В модели также предусмотрено три различных уровня навыков по ведению фермерского хозяйства и широкое разнообразие агротехнологий и методов выращивания культур. Модель **BAJIO можно** запускать отдельно или использовать в составе 20 географических районов, входящих в модель СНАС.

Для статической оптимизационной модели вроде **СНАС невозможно** построить причинно-следственную структурную диаграмму. Максимум, что мы смогли сделать, — построить структуру для сравнения (см. рис. 12.5). По сути, модель представляет собой одну колоссальную сельскохозяйственную производственную функцию, важнейшая переменная в которой — рыночный спрос. Это узкоспециализированный профессиональный взгляд на один из аспектов развивающейся экономики, а не широкое и при этом относительно поверхностное представление системы в целом.

В модели СНАС предусмотрено 3500 переменных, все из которых представляют собой функции друг друга — они определяются одновременно таким образом, чтобы целевая функция была максимальна, но при этом соблюдались все ограничения. Выяснить в таких условиях, как одна переменная точно зависит от другой, совершенно невозможно. Заданные явно положения модели — ограничения — в основном самоочевидны. Например, 348 уравнений в модели указывают на то, что площади земель в данный месяц в данном районе должны быть меньше или равны суммарной доступной территории. Важных структурных положений среди явно заданных нет, однако они присутствуют неявно, в выборе переменных, целевой функции и самой процедуры оптимизации.

Ключевая структурная гипотеза в модели СНАС состоит в том, что мексиканские производители и потребители в совокупности создают конкурентную рыночную среду в полном соответствии с теорией рынка. Эта теория задает ряд строгих требований, и предполагается, что экономика Мексики действует в соответствии с ними. Среди этих предположений есть такие[13]:

1) экономическая система работает за счет взаимодействия производителей и потребителей (и на модели проверяются стратегии правительства). Других факторов воздействия на экономику нет;
2) взаимодействие отдельных производителей и потребителей в совокупности приводит цену к равновесию с предельными

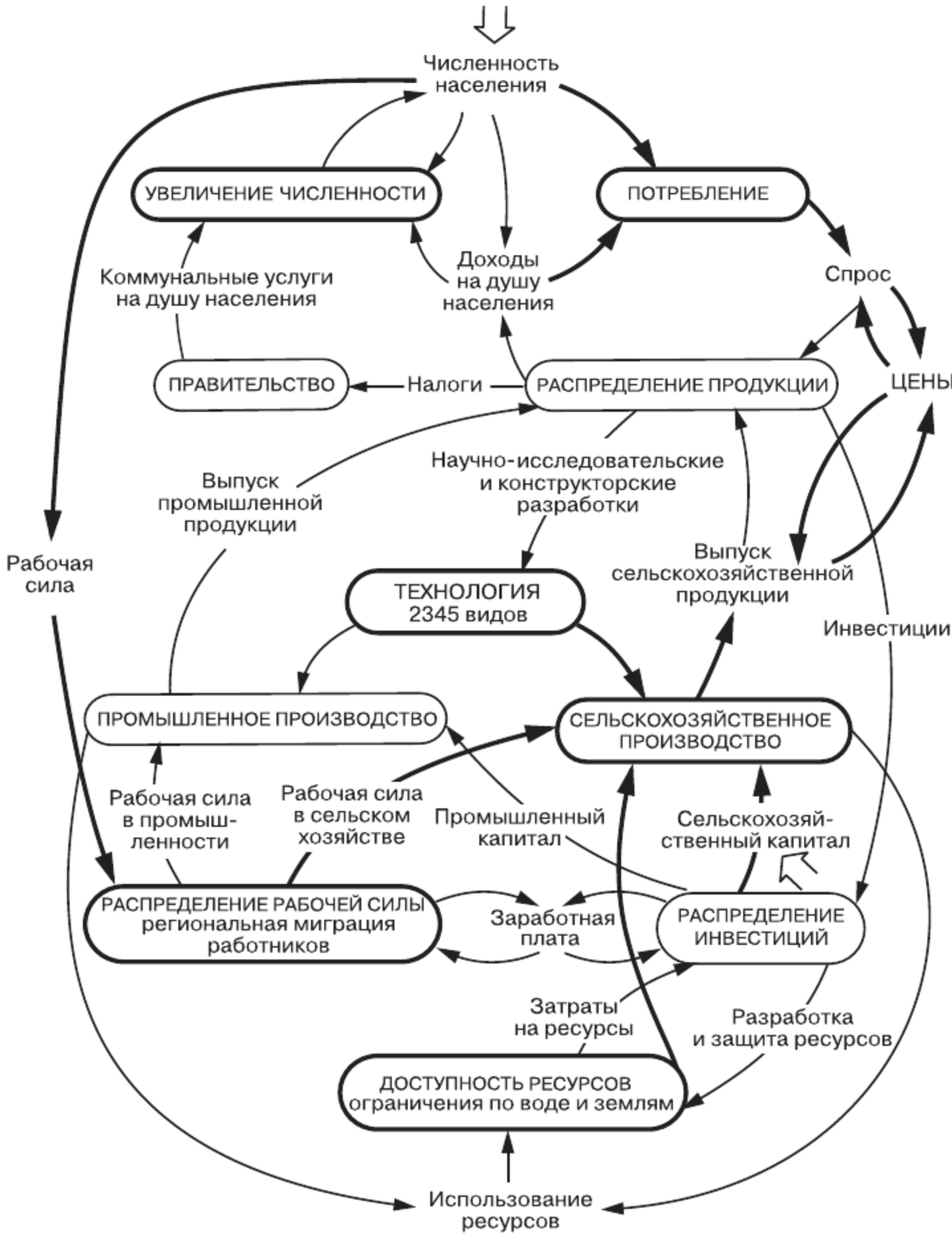


Рис. 12.5. Структура для сравнения, построенная для модели **СНАС. Элементы**, взятые в толстые рамки, и связи, отмеченные жирными стрелками, включены в модель. Остальные элементы и связи в модели отсутствуют и показаны для сопоставления

затратами (что обеспечивает максимальную полезность в соответствии с принципом оптимальности Парето);

3) предложение и спрос в течение года достигают равновесия между собой за счет механизма ценообразования; между производством, продажей и потреблением товара нет существенных временных задержек;

4) производители и потребители располагают на 100% точной и полной информацией. Изготовители знают, какие виды деятельности им доступны, какие при этом будут затраты, какую прибыль можно получить, по какой цене будет продаваться продукция; покупатели знают относительные цены на все товары и гибко подстраивают свои потребительские привычки к конкретной ситуации;

5) цены на сельскохозяйственные товары не имеют существенного влияния на доходы потребителей и на распределение доходов; кривые спроса остаются стабильными, даже если в течение года цены на продовольствие меняются;

6) все эти условия будут оставаться неизменными при реализации любых правительственных программ в области импорта и экспорта сельскохозяйственной продукции, формирования цен на факторы производства, назначения процентных ставок.

12.6. Данные

Было бы странным ожидать, чтобы у модели с 80 000 ненулевых коэффициентов оказалась полная документация. В опубликованных материалах по модели **СНАС содержатся лишь общие описания путей**, которыми были получены все эти численные величины. Основная масса показателей в модели относится к различным сельскохозяйственным культурам, доступным фермерам в разных регионах страны. Часть коэффициентов получена из официальных статистических источников — в основном Министерства водных ресурсов Мексики для областей, где используется орошение, и Министерства сельского хозяйства и животноводства для зон, где тропический климат и естественные осадки позволяют обойтись без полива[14]. Однако статистика составила лишь малую часть численного наполнения модели. Основное время проекта СНАС пришлось потратить на то, чтобы закрыть многочисленные прорехи в официальной статистической информации и сделать все показатели не противоречащими друг другу[15].

Самой трудной задачей было численно оценить принятие решений людьми — распределение труда в семье, готовность принять

на себя хозяйственные риски, потребительское поведение и его изменение. О происхождении таких данных разработчики почти ничего не говорят, лишь подчеркивают, что получить эти значения стоило большого труда и что они представляют собой наименее точные части модели.

12.7. Тестирование

Структура и особенности модели CHAC требуют, чтобы система была подвергнута самым разным видам тестов и проверок. Принципиальная гипотеза модели о свободном рынке ничем не подтверждена, поэтому необходимо проверять, действительно ли она отражает поведение реальной системы. Поскольку в модели 80 000 параметров, напрашивается подробнейшее тестирование чувствительности, несмотря на то, что многие численные величины были получены благодаря прямому наблюдению за процессами производства и, вероятно, имеют высокую точность. Поскольку систему CHAC создавали и для демонстрации возможностей моделирования, и для отработки управленческих программ, ее следовало бы проверить на многочисленных методологических экспериментах и тестах стратегий.

Однако тестировать модель CHAC — занятие довольно затратное, поскольку она очень велика и сложна. По ценам на машинное время в эпоху создания модели выходило, что поиск *каждого* решения будет обходиться в 50—100 долл.[16] Разработчикам удалось несколько снизить затраты за счет эффективных программистских решений; были даже созданы уменьшенные, более обобщенные версии системы специально для целей тестирования. Например, модель PACIFICO использовала данные только пяти из 20 географических областей производства в модели CHAC. Ее применяли в тех методологических тестах, где важна структура. В другой, более обобщенной версии CHAQUITO фигурировали все 20 районов, однако расчеты проводились по сезонам, в то время как большая модель CHAC оперирует отдельными месяцами. Эту систему использовали для отработки стратегий в масштабе всей Мексики при не очень высоком уровне детализации. Уже упоминавшаяся ранее система BAJIO описывала только один район, зато очень подробно. Но даже при наличии таких уменьшенных версий модели тестирование системы CHAC было делом очень сложным и трудоемким.

Опубликовано совсем немного результатов таких проверок. Практически ничего не сказано про общую достоверность модели. Хотя разработчики не раз упоминают этот термин, он всегда относится к какому-то конкретному результату. Оценки уровня занятости, вы-

данные моделью **СНАС, довольно близко подошли к результатам прямых** наблюдений, полученным в Гватемале и Перу[17]. Ценовые показатели в модели сравнивались с текущими ценами производственных факторов, чтобы проверить обоснованность положений системы о производстве. Они продемонстрировали высокое сходство[18].

Для отдельных параметров провели тесты на чувствительность и на структурную чувствительность — в первую очередь это касалось тех показателей, которые представлялись наименее точными (например, доля заработка, которую фермеры откладывают «на черный день», или ценовая эластичность спроса)[19]. Проводилось много методологических экспериментов, в особенности по вычислительной структуре программы — их целью было увеличить эффективность расчетов без потери точности.

Основная масса тестов относилась к проверке стратегий, и их было так много, что для этого не хватит отдельной книги. Проверялись процентные ставки, изменения за счет разницы в курсах валют, доходах, субсидиях на удобрения и пестициды и т. п.[20] Поскольку стратегии затрагивают отдельные районы и конкретные сельскохозяйственные культуры, разнообразие сочетаний и вариантов приводит к астрономическому количеству тестов. Выбор, какие из них проводить, делался на основе запросов, поступавших от двух клиентов модели.

Каждый прогон модели **СНАС выдавал огромное количество данных**, но их очень непросто облечь в слова, понятные обычной аудитории, не имеющей специализированной подготовки. Попытки разработчиков объяснить суть постоянно превращаются в мешанину технических терминов, мешающую понять истинный смысл[21].

12.8. Выводы

Хотя **СНАС — статическая модель, ее применили в псевдодинамическом** режиме, запустив для двух разных лет — 1968 и 1974 гг. Для прогона 1968 г. использовались фактические данные того периода, а для 1974 г. были взяты прогнозы по скорости роста доходов и его влиянию на спрос, по предполагаемой активности инвесторов, условиям мирового рынка и технологическим усовершенствованиям в производстве. Два прогона модели выполнили для сравнения с учетом стратегий и без них — этим надеялись отследить хотя бы краткосрочный динамический отклик на различные виды правительственных программ.

Расчет 1968 г. без реализации стратегий уже сам по себе дал богатую почву для размышлений и заключений о сельскохозяйственном

секторе Мексики, в том виде, в каком он описан в модели CHAC. Пожалуй, самым неожиданным результатом были оценки занятости: с учетом сезонных колебаний сельскохозяйственный сектор мог обеспечить лишь 2,4 млн человеко-лет занятости, при том, что армия рабочей силы насчитывала 5,2 млн человек[22].

> Сезонность сельскохозяйственных работ предполагает, что 18% рабочей силы не может найти работу даже на один месяц с предельной производительностью, равной текущему уровню зарплат. 44% не могут найти рабочее место сроком на три месяца при той же производительности. И лишь 27% имеют работу с условием полной занятости[23].

Разработчики придают этому результату очень большое значение, а их удивление подтверждает, что объемы занятости в сельском хозяйстве до сего момента никто не оценивал.

Ряд других результатов 1968 г. затрагивает относительные преимущества международной торговли. В табл. 12.2 показаны рассчитанные моделью CHAC предельные доходы или потери от экспорта некоторых видов культур. Таблица предлагает определенные программы по регулированию налогов и квот: например, экспорту кукурузы нужно препятствовать, а суммарный экспорт по всем видам зерновых следует облагать налогом в размере до 4% — это позволит сохранить экспорт прибыльным[24].

Сравнение результатов 1974 г. с результатами 1968 г. без реализации стратегий показывает, что сельскохозяйственное производство растет гораздо быстрее, чем доходы в этом секторе. Такое поведение типично для большинства развивающихся стран. Сопоставление также демонстрирует, что занятость в аграрном секторе увеличивается медленнее, чем рабочая сила. Ситуация с каждым годом становится еще хуже, при том, что уже на год моделирования были получены шокирующие цифры: безработица в сельском хозяйстве на уровне 46%.

Проверка стратегий, нацеленных на то, чтобы улучшить это положение, как и следовало ожидать, показала, что за относительно короткий период можно добиться лишь очень незначительных изменений. При этом любая политика, улучшающая что-то в одной части системы, неизменно вызывает ухудшение в другой. Например, наибольшее влияние на занятость среди всех проверенных стратегий и программ дает удвоение процентной ставки. Благодаря этому изменению рост занятости за год увеличивается с 2,8 до 3,1%, но одновременно сильно страдает производство и возрастают потребительские цены. В табл. 12.3 приведено качественное описание некоторых из подобных сочетаний положительных и отрицательных последствий от разных стратегий в модели CHAC.

Таблица 12.2

Оценка прибыльности выращивания в Мексике отдельных сельскохозяйственных культур, которыми торгуют на международном рынке (1967—1969 гг.)*

Вид культуры	Экспорт за базовый период**, т	Экспорт по модели CHAC***, т	Предполагаемая экспортная цена, **** песо/т	Минимальная прибыль по модели CHAC	Предельные затраты производства в модели CHAC, песо/т
Клубника	16 930	21 200	3 680	2 240	1 440
Кунжут	8 300	16 600	3 981	2 200	1 781
Мускусная дыня	45 051	45 051	2 003	1 420	583
Арахис	4 150	8 300	2 500	1 170	1 130
Томаты	38 107	38 107	1 200	900	300
Арбузы	41 842	41 842	1 135	740	395
Картофель	26	10 000	1 200	690	510
Хлопок (на волокно)	318 877	318 877	5 767	670	5 097
Огурцы	30 752	70 000	7 960	420	370
Ананасы	9 613	9 613	400	140	260
Зеленый перец чили	16 700	25 100	748	130	618
Бобовые	66 400	99 600	1 846	100	1 746

Окончание табл. 12.2

Вид культуры	Экспорт за базовый период**, т	Экспорт по модели СНАС***, т	Предполагаемая экспортная цена, **** песо/т	Минимальная прибыль по модели СНАС	Предельные затраты производства в модели СНАС, песо/т
Сахарный тростник*****	7 967 628	7 967 682	68	20	48
Сорго	2 140	—	566	–50	616
Хлопок (на масло)	—	—	416	–160	576
Овес	—	—	387	–290	677
Сафлор	7 724	—	1 550	–380	1 930
Пшеница	153 258	—	600	–460	1 060
Рис	137	—	750	–460	1 210
Кукуруза	979 455	—	623	–480	1 103
Соя	—	—	800	–670	1 470

* Таблица приводится по источнику: Goreaux, Mann[1], по разрешению издательства *North-Holland Publishing company*.
** Для базового периода определяется среднее значение за 1967—1969 гг.
*** В модели СНАС на экспорт налагаются произвольные границы, чтобы определить предельные оценки. Для тех культур, которые предусматривают строгие международные квоты, официальные или неофициальные, эти границы устанавливаются равными текущему объему экспорта.
**** Это средняя цена без учета транспортных расходов («цена у ворот»), которая меньше, чем фоб-цена (по этим условиям продавец обязан доставить товар и берет на себя транспортные расходы). Экспортные цены в некоторых случаях выглядят отвлеченными, однако в таблице достаточно информации, чтобы из различных цен рассчитать минимальную прибыль.
***** Экспорт сахарного тростника и цены на него приводятся в тростниковом эквиваленте, хотя непосредственно экспортируется готовый сахар.

Таблица 12.3

Качественное влияние определенных изменений в политике в модели СНАС*

Средство достижения цели						
Цель	**Разница в курсе валют**	**Изменение процентной ставки**	**Изменение зарплат**	**Субсидии на химические удобрения и пестициды**	**Налог на воду**	**Управление поставками**
Доходы производителей	++	++	++	+	–	++
Выгода потребителей	–	=	=	++	–	=
Занятость	+	+	=	=	–	–
Экспорт	++	–	–	+	–	++
Бюджет	–	X	X	–	+	X
Производство	++	=	=	++	=	–

* Таблица приводится по источнику: *Goreaux, Mann*[1], по разрешению авторов.

Обозначения в таблице:
++ существенное положительное изменение, улучшение;
+ положительное изменение;
= существенное отрицательное изменение, сильное ухудшение;
– отрицательное изменение;
X средство достижения цели в данном случае неприменимо

Общее заключение разработчиков модели звучит так: «Проблема с занятостью в сельском хозяйстве практически не имеет решения...»[25].

> Сельское хозяйство Мексики вскоре столкнется с проблемой относительно низкой скорости роста в доходах фермерских хозяйств и увеличения занятости — эти явления уже становятся заметны и будут происходить, несмотря на повышение внутреннего спроса и более высокие потребности в экспорте... Проблема состоит не в том, чтобы найти способ просто увеличить производство. Вопрос в том, как осуществить структурные изменения, чтобы внутренний спрос увеличился. Таковы проблемы второго поколения после зеленой революции, и Мексика столкнется с ними раньше, чем другие развивающиеся страны[26].

Заключения во многом схожи с выводами, которые сделал Бельтран дель Рио на основе совершенно другой модели, MexicoV. Их же озвучивали и в результате анализа мысленных моделей. В свое время модель Пикарди не предусматривала серьезных структурных измене-

ний, которые могли бы решить проблемы кочевников в Сахельском регионе, так и модели MexicoV и CHAC не прибегали к существенным изменениям ни со стороны спроса, ни со стороны предложения (например, можно было бы попытаться изменить распределение доходов или земель). Не исключено, что это позволило бы найти применение рабочей силе в сельских районах Мексики и обеспечить занятость населения.

Еще одна проверка стратегии была выполнена в модели CHAC для второго заказчика, Всемирного банка. Оценивался эффект от конкретных вложений в создание сети оросительных каналов, колодцев и скважин, в выравнивание земель, которое сразу же позволяет добиться улучшения в орошении, поскольку вода распределяется более равномерно. Эти тесты запускались на более подробной, но уменьшенной по размерам модели одного района BAJIO, при этом вместо расчета по каждому месяцу применялись трехмесячные интервалы (такая версия модели получила название BAJITO). Заключения особого удивления не вызвали. Колодцы с точки зрения выгодности оказались самым перспективным видом вложений. Распределение было оптимальным при охвате программой небольших фермерских хозяйств, которые практиковали земледелие без искусственного орошения, но имели достаточно высокий уровень зарплат, а также больших хозяйств, которые тоже не применяли орошение, но при этом и высоких зарплат не обеспечивали. Выравнивание земельных территорий по выгодности занимало среднее положение, а создание сети оросительных каналов было наименее рентабельным (в то время как раз массово прокладывали такие каналы)[27].

Проводились и другие эксперименты, и результаты некоторых из них тоже удивили разработчиков.

> ...Определить заранее, каким будет направление изменений, в столь сложной модели, как CHAQUITO, практически невозможно. Например, в ней цены на продукцию не снижаются, а даже растут, когда разница в валютных курсах увеличивается с 0 до 30%. При этом вложения в водные ресурсы слегка уменьшаются... Происходит сдвиг экспорта в сторону увеличения поставок лука. Эта культура быстро откликается на выравнивание земель и дает на таких территориях больший урожай, чем на невыровненных[28].

12.9. Требования к компьютеру

Система CHAC, как все большие модели, построенные на линейном программировании, чрезвычайно требовательна к программному и аппаратному обеспечению компьютера. Как и прочие краткосрочные, но при этом подробные модели, рассчитывающие конкретные парамет-

ры, CHAC требует большого пространства для хранения результатов, а прогон модели занимает много времени. Чтобы программу можно было запускать на вычислительных мощностях, доступных в Мексике, ее пришлось существенно переделать. Перенести модель на другие вычислительные ресурсы, вероятно, было бы очень сложно, к тому же за пределами Мексики она вряд ли кому-то понадобится. Благодаря финансированию Всемирного банка строились и другие модели, подобные CHAC, — например, для Ирана, Индии, Танзании и Бразилии[29].

12.10. Реализация

У модели **CHAC необычно успешная история применения — по крайней** мере, так считают ее создатели. Работа над ней началась в 1970 г., тогда проверялась полезность метода как такового. Эксперимент, по мнению правительства Мексики, оказался настолько удачным, что один из ведущих разработчиков из группы Всемирного банка был приглашен на работу в Министерство управления, чтобы продолжить создание модели и «помочь в принятии конкретных мер по вопросам сельскохозяйственной политики Мексики»[30]. Когда работы стали проводиться под эгидой Министерства управления, модель CHAC начали использовать для проверки стратегий. Результаты моделирования и выводы публиковались в официальных докладах и фигурировали в государственных планах[31].

Со временем работы над моделью приобретали все бóльшую независимость от технической поддержки Всемирного банка, к тому же одновременно в Мексике был создан специальный институт при правительстве, занимавшийся проблемами моделирования. Более того, успешность модели CHAC привлекла внимание международных агентств, в том числе Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН.

Модель показала, что выгоды от выращивания различных сельскохозяйственных культур на экспорт очень сильно разнятся. Такие выводы оказали непосредственное влияние на решения мексиканского правительства в области сельского хозяйства. В частности, экспорт был смещен в сторону увеличения поставок кунжута и бобовых[32].

Успех в применении модели CHAC — результат грамотного менеджмента, счастливого стечения обстоятельств и удачного «попадания» в потребности тех, кому для принятия решения как раз недоставало инструмента для краткосрочного, но при этом подробного анализа. Работы над моделью **CHAC проводились с «привлечением квалифи**цированных специалистов, занимавших высокие посты в мексиканском правительстве, которое было заинтересовано в финансировании проекта и оценке его результатов»[33]. В ходе работ «постоянно поддер-

живалось взаимодействие со специалистами по сельскому хозяйству, лицами, принимающими решение, и группой создателей модели. Это позволяло точнее очерчивать проблемные области и вносить в модель соответствующие изменения»[34].

Применение системы CHAC для решения конкретных проблем позволило направить в новое русло обсуждение различных стратегий и модель стала «гибким и критически важным элементом в принятии решений»[35].

12.11. Документирование

Модель CHAC создавалась в международной организации, Всемирном банке, а затем перешла в ведение национального института — Министерства управления Мексики. Между разработчиками модели и теми, кто планирует программы в масштабах страны, поддерживались отношения на уровне «консультант-клиент». Клиенты задавали вопросы, консультанты искали на них ответы и предоставляли их либо в устной, либо в письменной форме. В любом случае весь обмен информацией рассматривался как внутренний. Нет никаких сомнений, что за 5 лет существования модели CHAC были созданы тонны документов и томов, но лишь малая толика из них была опубликована. Основная информация хранится в архиве Всемирного банка и доступна для желающих, но она состоит из подборок данных, базовых положений и блок-схем для линейного программирования[36].

Опубликованная документация на модель CHAC страдает фрагментарностью; бóльшая ее часть носит технический характер. В 1973 г. была опубликована книга, содержащая описание CHAC и сопутствующих ей моделей DINAMICO и ENERGETICOS[37]. В технических журналах публиковались и отдельные статьи о системе CHAC.

Имеющиеся документы о модели в основном касаются аспектов ее построения — информационные базы данных, используемый алгоритм, структура линейной программы и т. п. Многие аспекты модели в опубликованных статьях просто не рассматриваются. Например, нет ни одного систематизированного описания для тестирования модели на чувствительность. Нет даже сводных материалов о том, какие положения лежат в основе модели, хотя вполне можно было бы доступным языком описать, как она работает в общих чертах.

Форма, в которой представлены документы по модели, скорее всего, объясняется тем, как программисты отчитывались о выполненной работе, однако из этих материалов нельзя понять, как именно работает система. Опубликованные статьи написаны с использованием такого количества специальных терминов, что никто, кроме линейных программистов, не сможет разобраться в этом. Человек, который

автоматически не мыслит экономическими шаблонами и терминами, вынужден либо принимать основные предположения модели на веру, либо вслепую отказываться от них, потому что вникнуть в смысл ему все равно не удастся. И если оценивать модель с точки зрения бытового здравого смысла, сразу возникает сомнение в том, что разработчики действительно сумели оценить одновременные взаимозависимости между параметрами, которые сведены в матрицу размерностью 3500 × 1500. Как и в случае других краткосрочных, детально проработанных моделей, система СНАС представляет собой «черный ящик», который выглядит внушительно и выдает (возможно) полезную информацию, но внутренние процессы при этом совершенно непонятны.

Ссылки на источники

1 *Goreux L.M.*, *Manne A.S.* **Multi-Level Planning: Case Studies in Mexico. Amsterdam**: North Holland Publishing Co., 1973. С. 10.

2 *Norton R.D.*, руководитель подразделения Всемирного банка по планированию развития, информация получена из частной беседы.

3 *King B.B.*, советник по исследованиям Всемирного банка, информация получена из частной беседы.

4 *Duloy J.H.*, *Norton R.D.* **CHAC, a Programming Model of Mexican Agricul**ture: информация приводится в ранее упомянутом источнике: *Goreux L.M.*, *Manne A.S.*, с. 292.

5 *Bassoco L.M.*, *Norton R.D.* A Quantitative Approach to Agricultural Policy Planning // Annals of Economic and Social Measurement. 1975. Октябрь-ноябрь.

6 Приведенные четыре пункта взяты с сокращениями из ранее упомянутого источника: *Bassoco L.M.*, *Norton R.D.*

7 Ранее упомянутый источник: *Duloy J.H.*, *Norton R.D.*, с. 292.

8 Подробное описание этого процесса и его результатов приводится в работе: *Duloy J.H.*, *Norton R.D.* Linking the Agricultural Model and the Economy-Wide Model, см. ранее упомянутый источник: *Goreux L.M.*, *Manne A.S.*, с. 435.

9 Ранее упомянутый источник: *Duloy J.H.*, *Norton R.D.*, с. 295.

10 Там же, с. 316.

11 Там же, с. 294.

12 Модель BAJIO описана авторами *Bassoco L.M.*, *Duloy J.H.*, *Norton R.D.*, *Winkelmann D.L.* в ранее упомянутом источнике: *Goreux L.M.*, *Manne A.S.*, с. 401—433.

13 Этот список частично пересекается с основными предположениями теории общего равновесия, выдвинутой ученым Янушем Корнаи: *Kornai J.* Anti Equilibrium. Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1973. С. 18—23.

[14] *Bassoco L.M.*, *Rendon T.* The **Technology Set and Data Base for CHAC: pa**бота приводится в ранее упомянутом источнике: *Goreux L.M.*, *Manne A.S.*, с. 339.

[15] *King B.B.*, советник по исследованиям Всемирного банка, информация получена в частной беседе.

[16] *Norton R.D.*, информация получена в частной беседе.

[17] *Duloy J.H.*, *Norton R.D.* **CHAC Results: данные приводятся в ранее упомя**нутой работе: *Goreux L.M.*, *Manne A.S.*, с. 378.

[18] *Bassoco L.M.*, *Duloy J.H.*, *Norton R.D.*, *Winkelmann D.L.*, ранее упомянутый источник, с. 413.

[19] Ранее упомянутый источник: *Duloy J.H.*, *Norton R.D.*, с. 381.

[20] Там же, с. 374.

[21] *Bassoco L.M.*, *Norton R.D.* A Quantitative Approach to Agricultural Policy Planning // Annals of Economic and Social Measurement. 1975. Октябрь-ноябрь. С. 28.

[22] Ранее упомянутый источник: *Duloy J.H.*, *Norton R.D.*, с. 378.

[23] Там же, с. 381.

[24] Там же, с. 384.

[25] Там же, с. 391. Это утверждение сопровождалось предостережением о том, что изменения в размере ферм, не протестированные в модели **CHAC, мо**гут очень сильно повлиять на потребность в рабочей силе.

[26] Там же, с. 398.

[27] *Duloy J.H.*, *Kutcher G.P.*, *Norton R.D.*, см. ранее упомянутый источник: *Goreux L.M.*, *Manne A.S.*, с. 417.

[28] Там же, с. 426.

[29] *Norton R.D.*, информация получена в частной беседе.

[30] Research Project Summary/IBRD Development Research Center. Project No. RPO: 216. 1974. C. 2.

[31] Описание того, как проводился анализ стратегии, включено в книгу: «**Pro**gramming Studies for Agricultural Sector Policies», над которой работали L.M. Bassoco, R.D. Norton, J.S. Silos, M. Solis.

[32] *Barazza L.*, *Solis L.* Policies and the Sectoral Model: см. ранее упомянутый источник: *Goreux L.M.*, *Manne A.S.*, с. 474.

[33] Ранее упомянутый источник: IBRD Development Research Center, с. 7.

[34] Ранее упомянутый источник: *Barazza L.*, *Solis L.*, с. 475.

[35] Там же, с. 475.

[36] *Duloy J.H.*, *Norton R.D.*, см. ранее упомянутый источник: *Goreux L.M.*, *Manne A.S.*, с. 324.

[37] Ранее упомянутый источник: *Goreux L.M.*, *Manne A.S.*

Часть IV

Современное положение дел

Если бы мы только знали, *где* мы сейчас и *куда* движемся, тогда мы лучше представляли бы себе, *что* нужно делать и *как* этого добиться.

Авраам Линкольн

Джон Мейнард Кейнс, работая над самой первой критической статьей о компьютерной модели (одной из первых эконометрических систем Яна Тинбергена), сказал: «Самое плохое — его гораздо больше интересует, *как* сделать работу, и он не тратит времени на то, чтобы задуматься, стоит ли браться за нее вообще»[1]. Нужно ли проводить компьютерное моделирование, приносит ли оно пользу? Позволяет ли достичь каких-то знаний, которые иным путем получить невозможно? Эффективен ли этот способ, чтобы разобраться в сложных социальных системах? Можно ли опираться на такие знания, чтобы судить о социальных системах будущего так же, как мы анализируем системы прошлого? И если понимание действительно приходит, то использовали ли его, чтобы сделать мир лучше? Были ли успешными такие попытки?

В этом разделе книги мы займемся оценкой компьютерных моделей, посмотрим, чем они отличаются, как могут изменить наши мысленные модели и позволят ли предсказывать или строить новые системы, в которых участвуют люди. Для начала нужно как можно точнее описать текущее положение дел в области моделирования.

Мы описали одну за другой девять моделей и в некоторых случаях упоминали их характеристики в сравнении. Эта глава позволит оценить их все вместе как набор — мы будем сопоставлять их особенности по нескольким принципиальным направлениям и точкам зрения, что называется, «вдоль и поперек»[2].

Глава 13 посвящена содержанию моделей. Мы изучим, что именно модели позволили узнать об индустриализации в целом и о пяти

явлениях, неизменно сопутствующих ей (а в некоторых случаях выступающих ее причиной): рост численности населения; производство и распределение экономической продукции; изменения в технологии; миграция и распределение рабочей силы; загрязнение окружающей среды и истощение ресурсов. В главе 14 мы вернемся к пяти принципиальным преимуществам компьютерных моделей, сформулированным в главе 1:

1) *строгость*;
2) *полнота*;
3) *логика*;
4) *понятность*;
5) *гибкость и тестируемость*.

И посмотрим, насколько эти пять преимуществ реализованы в девяти моделях. В главе 15 мы оценим реализацию моделей: использовались ли они на практике, и если да, то какими были результаты? Изменился ли мир от того, что такие модели появились на свет?

Ссылки на источники

[1] *Keynes J.M.* Professor Tinbergen's Method // The Economic Journal. 1939. XLIX (195). C. 559.

[2] *Ackoff R.* The Future of Operational Research in Past // Journal of the Operational Research Society. 1979. № 30. C. 96.

13
ГЛАВА

Составные элементы модели: процесс индустриализации

Все девять моделей — самые масштабные из тех, что были созданы для описания социальных систем, — пытаются объяснить одни и те же социальные проблемы, с которыми человечество столкнулось в XX в. Все они вызваны переходом от традиционного, сельскохозяйственного общества к новому, индустриальному, и сопутствующими культурными изменениями. Есть много разных вариантов для описания и измерения процесса развития, но по сути это и есть индустриализация. Ее исследуют, о ней говорят, в ее ход пытаются вмешаться. Процесс индустриализации сложен, происходит постепенно и затрагивает все сферы жизни. До сих пор мы далеки от ее полного понимания — даже те общества, в которых индустриализация шагнула далеко вперед.

Обычно процесс промышленного развития описывают параметрами, лежащими на поверхности, доступными для прямого наблюдения. По сути, это медленное эволюционирование общества из доиндустриального состояния, которое характеризуется следующими признаками.

- Технические и социальные изменения столь малы, что заметны только при смене поколений.
- Материальный уровень жизни обеспечивается в основном за счет сферы услуг.
- Женщины рожают детей на протяжении всего репродуктивного периода.
- Практически в каждой семье часть детей гибнет.
- Перемещения населения ограничены, люди не удаляются от своего дома дальше, чем на несколько километров. Мобильного населения как такового не существует.
- Нет культурного разнообразия, среда однородна.
- Используются в основном возобновимые ресурсы, материальные потоки и энергия. Средний суточный расход энергии на душу населения составляет порядка 5000—10 000 килокалорий.

- Политические и экономические системы децентрализованы; хозяйства на локальном и региональном уровнях независимы и самодостаточны.
- Основное хранилище информации — человеческая память. Передача информации в основном происходит в устной форме.

Индустриально развитое общество имеет совсем другие черты.

- Существенные изменения, особенно в уровне развития технологий, при жизни одного и того же поколения.
- Материальный уровень жизни обеспечивается в основном за счет применения технологий и механических устройств.
- Женщины рожают детей только в желаемое время в ходе репродуктивного периода.
- Практически отсутствует детская смертность.
- Население очень мобильно и перемещается на тысячи километров; есть понятия социальной и экономической мобильности.
- Культурное разнообразие велико, порой это создает социальную напряженность.
- Используются в основном невозобновимые ресурсы, материальные потоки и энергия. Энергопотребление составляет более 100 000 килокалорий на человека в сутки.
- На локальном и региональном уровнях все системы связаны между собой. Политические и экономические системы централизованы.
- Информация хранится и передается за счет телекоммуникационных систем, компьютерных сетей, свободно воспроизводится и тиражируется.

К этому списку можно добавить еще много пунктов.

Но даже в той форме, в которой мы его записали, он вызывает массу вопросов о том, какие именно процессы приводят к изменению общества. Почему вообще происходит индустриализация, почему она может начинаться в разное время и идти столь разными темпами? Связаны ли перечисленные в списке факторы между собой неразрывно или на них можно воздействовать по отдельности, стимулируя одни и препятствуя другим? Устойчиво ли индустриальное общество на протяжении долгого времени, или его ждет преобразование в какую-то другую форму или катастрофа? Как начинается этот процесс, как заканчивается, к чему приводит и какими его аспектами люди могут управлять?

О моделях, описывающих индустриализацию, написаны многие тома. Это не документация, а словесные описания, словесные модели. Мы даже не будем пытаться сравнить с ними, а заодно и с мысленными и математическими моделями те девять систем, что выбрали для книги, потому что модели, как и любые процессы в реальном мире, слиш-

ком сложны и многомерны. Вместо этого мы внимательно посмотрим на пять процессов, постоянно происходящих в социальных системах. Они влияют на индустриализацию, которая, в свою очередь, сама влияет на них.

1. Рост численности населения.
2. Производство и распределение экономической продукции.
3. Изменения в технологии.
4. Миграция между сельскими и городскими районами.
5. Использование природных ресурсов.

Эти процессы можно считать ключевыми показателями индустриализации. Социальная система в них полностью вовлечена и меняется во время промышленного развития. Каждый процесс так или иначе связан с остальными. Понимание причин и следствий индустриализации невозможно без осознания особенностей всех пяти процессов и их взаимного влияния друг на друга.

Разумеется, существуют и другие процессы, не упомянутые в списке, но тоже неразрывно связанные с индустриализацией. Например, изменение системы ценностей и роли семьи, международная торговля, значимость денег и кредитов, влияние правительства. Мы ограничили обсуждение пятью процессами в первую очередь потому, что именно они включены практически во все описанные в книге модели. Изменение ценностей в обществе, напротив, фигурирует только в двух из девяти, и то частично. Финансовые потоки можно обнаружить только в одной модели, международная торговля учтена в трех, структура семьи — вообще ни в одной. Правительство практически во всех моделях присутствует как внешняя сила.

В этой части книги мы рассмотрим, *как* каждый из пяти процессов представлен в каждой из девяти систем, сравним их отображение с поставленной целью и оценим их влияние на выводы модели (в той степени, в которой его удастся уловить). Конечно, мы бы хотели сравнить представления всех систем с реальными процессами, но это в принципе невозможно, поскольку модели всегда были и будут упрощениями реальности, а не действительностью как таковой. Да и мы сами для сопоставления используем не реальные системы, а наши мысленные модели о них. Вообще, все упоминания «реального мира» в нашем обсуждении могут означать только две вещи: то, как процесс индустриализации воспринимается авторами (и читателями) этой книги, и то, какая часть воспринимаемого процесса может иметь значение для целей конкретной модели. Эту поправку всегда нужно держать в уме, поэтому каждый раздел мы будем начинать с описания собственных мысленных моделей на соответствующую тему и будем самим себе регулярно напоминать, какие цели преследовала та или иная модель.

13.1. Рост численности населения

1. Мысленные модели

Размер и структура населения откликаются на изменения в экономической системе. Происходит это через три основных механизма: рождаемость, смертность и миграцию. На рождаемость и смертность влияет масса факторов, включая социальные, биологические, экономические... Имеют значение и правительственные программы, информирование населения, средства контроля над рождаемостью, методы уменьшения смертности, состояние окружающей среды и многие другие. Малая часть из них приведена на рис. 13.1. Индустриализация влияет практически на все перечисленные факторы, и самый явный результат — уменьшение и рождаемости, и смертности. Этот процесс называется демографическим переходом и показан на рис. 13.2 для разных стран мира.

Численность населения определяет потребности в различных видах экономической продукции и услуг, начиная с продовольствия и заканчивая образованием и жильем. От населения зависит важный фактор экономической деятельности — рабочая сила, которая может иметь разное географическое распределение, квалификацию и трудовой потенциал. Численность, распределение, профессиональный

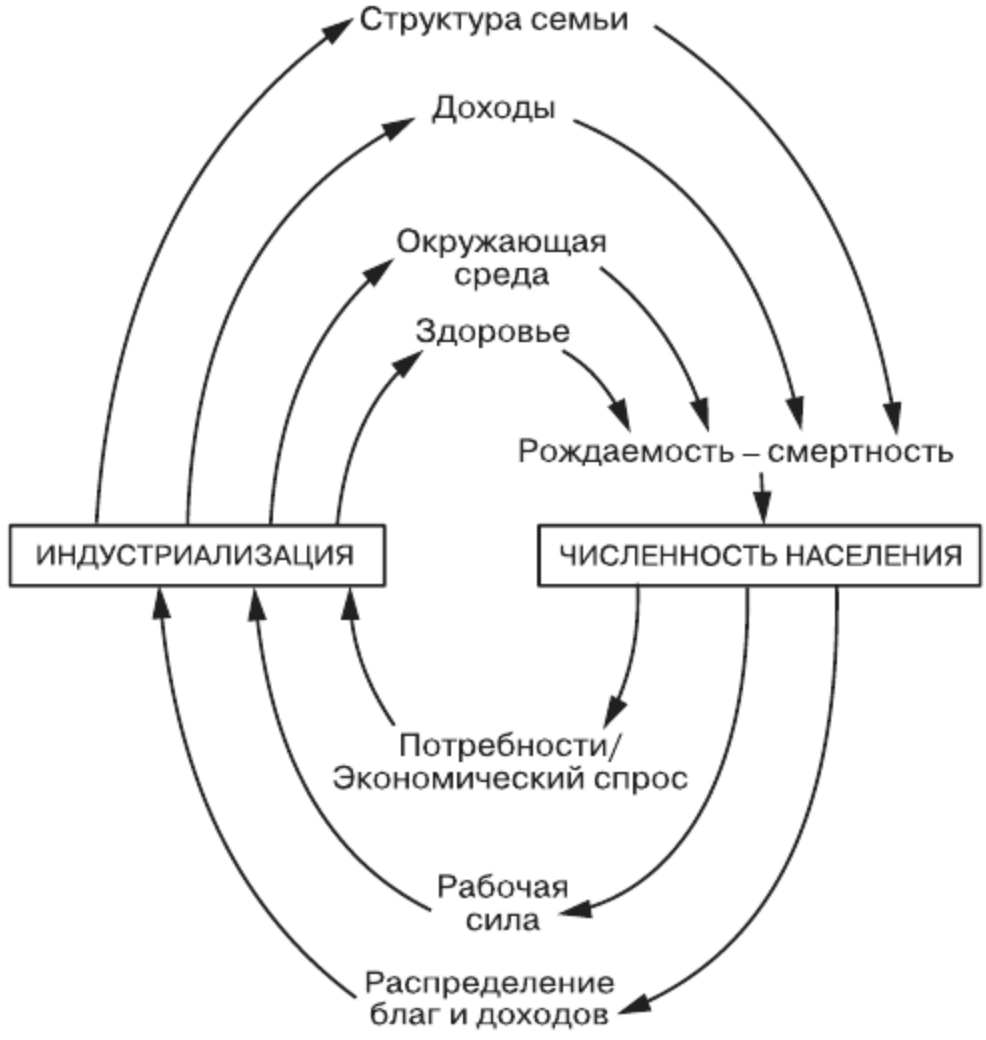


Рис. 13.1. Взаимные влияния роста численности населения и процесса индустриализации

уровень и другие характеристики различных слоев населения влияют на распределение экономической продукции через рыночный спрос и/или политические механизмы. В общем и целом, с ростом численности населения все душевые показатели снижаются.

Население имеет определенное динамическое влияние на развитие общества. Численность и демографические характеристики меняются с запаздыванием, обладают определенной инерцией. Возрастные группы постепенно сменяют друг друга на протяжении периода, равного продолжительности человеческой жизни. Лишь редкие явления — такие как голод, войны или внезапные массовые переселения — могут приводить к резким изменениям в демографических показателях. При обычном ходе истории численность, половозрастная структура, уровень здоровья и способностей, благосостояние и социальные нормы меняются медленно и постепенно, при этом в демографической структуре остаются следы больших потрясений на период порядка 80 лет. Например, влияние Первой и Второй мировых войн прослеживается в демографических показателях большинства стран Европы до сих пор. Последствия бэби-бума в США, имевшего место в 1950-х гг., будут сказываться даже после 2015 г., когда возрастные группы тех, кто родился в то время, достигнут пенсионного возраста.

Население участвует в индустриализации и как фактор, определяющий спрос и производство, и как параметр, влияющий на экономические условия, и как стабилизирующий элемент, привносящий в систему некоторую инерцию, замедляющий и смягчающий изменения. Неудивительно, что все девять моделей в нашем списке в том или ином виде включали в себя население. В некоторых структура сектора населения была очень сложной, а описание — очень подробным.

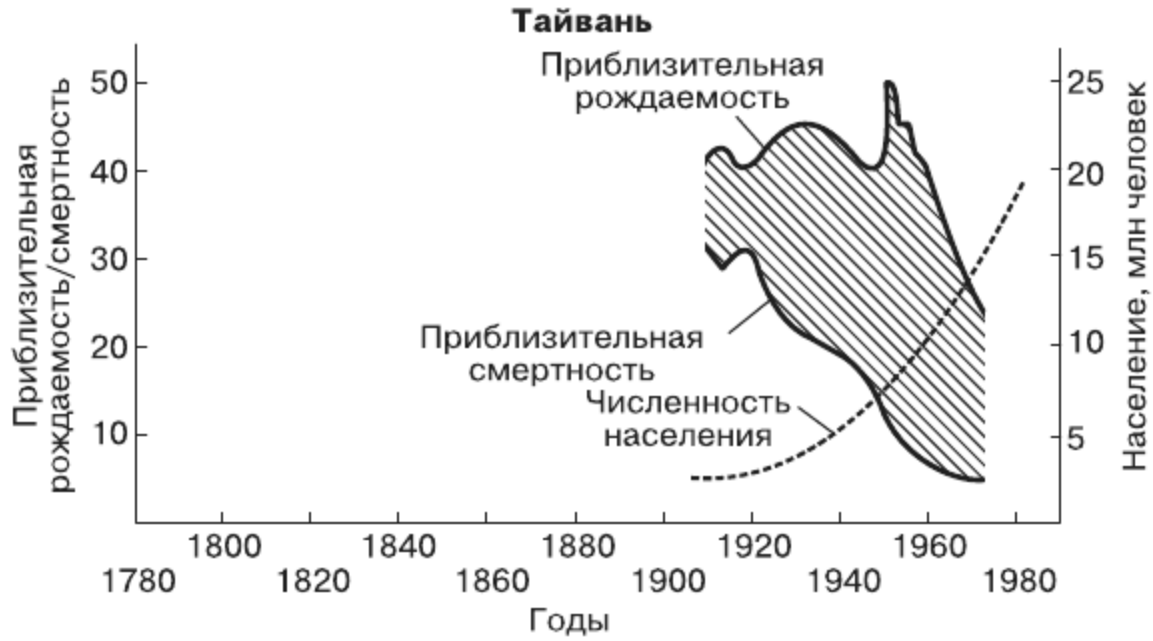
2. Компьютерные модели

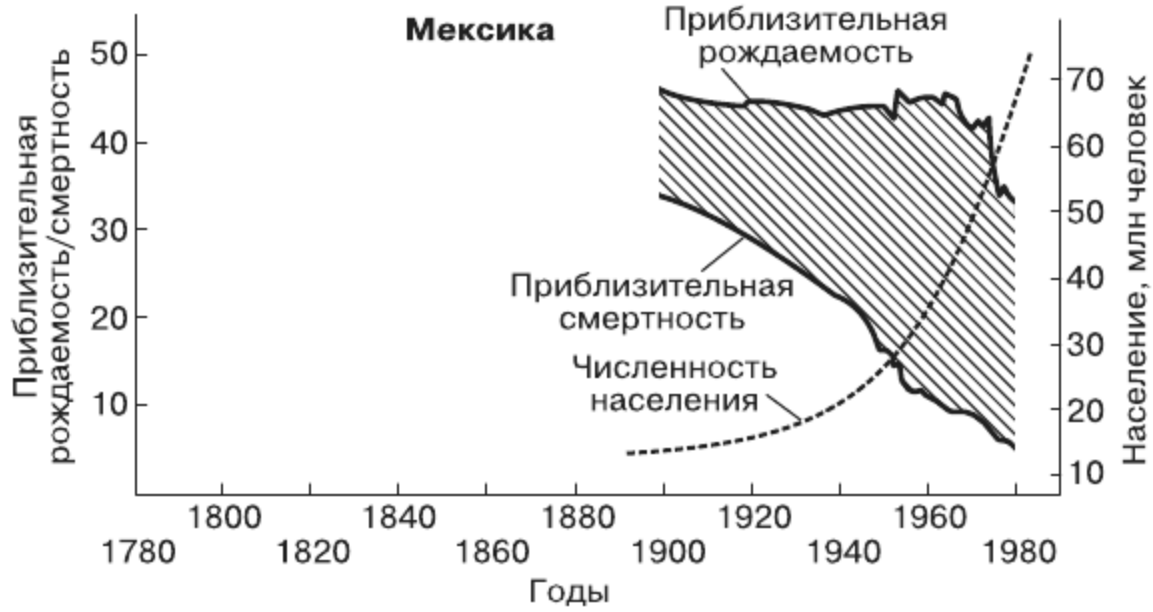
Все варианты представления населения в девяти моделях можно разделить на четыре типа, показанные на рис. 13.3. Самый простой способ включить население в модель — задать его как внешнюю переменную (постоянную или управляемую неизменной скоростью роста) и оперировать только численностью, без учета других демографических показателей. В нашем обзоре такой метод используют две модели: CHAC и MexicoV.

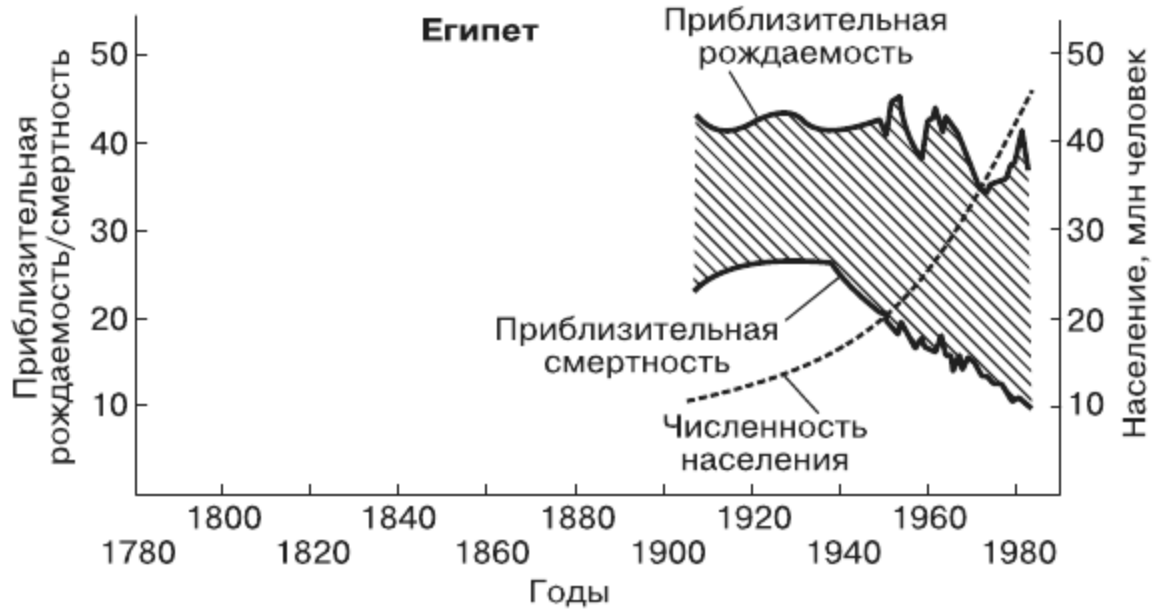
В модели CHAC **обобщенное значение численности населения необ**ходимо для расчета потребительского спроса на сельскохозяйственную продукцию. Кроме того, статистика по сельскому населению четырех регионов используется в качестве ограничений по рабочей силе. Поскольку модель CHAC статическая, эта величина не предусматривает каких-либо изменений в численности населения, она просто задается извне для каждого конкретного года расчета. Если заданное значение по каким-то причинам представляется неправдоподобным, расчет выполняется снова уже по другим вариантам численности.



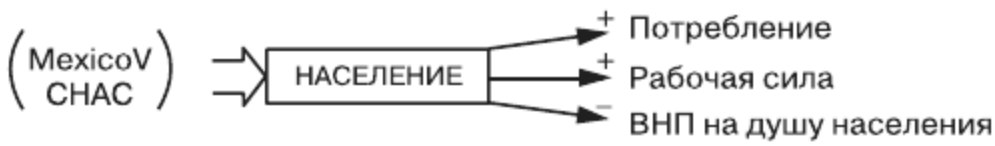
Рис. 13.2. Демографический переход в промышленно развитых и развивающихся странах. Воспроизводится по разрешению D.H. Meadows


Тайвань
Приблизительная рождаемость
Приблизительная смертность
Численность населения
Приблизительная рождаемость/смертность
Население, млн человек
Годы
50
40
30
20
10
25
20
15
10
5
1780
1800
1820
1840
1860
1880
1900
1920
1940
1960
1980


Мексика
Приблизительная рождаемость
Приблизительная смертность
Численность населения
Приблизительная рождаемость/смертность
Население, млн человек
Годы
50
40
30
20
10
70
60
50
40
30
20
10
1780
1800
1820
1840
1860
1880
1900
1920
1940
1960
1980


Египет
Приблизительная рождаемость
Приблизительная смертность
Численность населения
Приблизительная рождаемость/смертность
Население, млн человек
Годы
50
40
30
20
10
1780
1800
1820
1840
1860
1880
1900
1920
1940
1960
1980

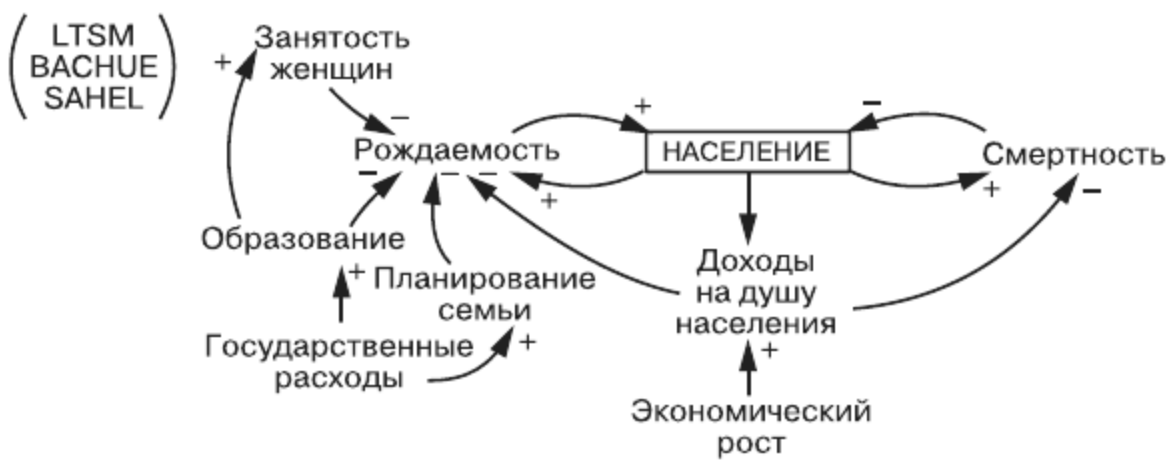
1. ЧИСЛЕННОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ – ОБОБЩЕННЫЙ ВНЕШНИЙ ПАРАМЕТР



2. ЧИСЛЕННОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ ЗАДАЕТСЯ ИЗВНЕ, НО РАСПИСЫВАЕТСЯ ПОДРОБНО



3. ЧИСЛЕННОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ – ВНУТРЕННИЙ ПАРАМЕТР, В СИСТЕМЕ МОДЕЛИРУЕТСЯ ДЕМОГРАФИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД



4. ЧИСЛЕННОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ – ВНУТРЕННИЙ ПАРАМЕТР, СИСТЕМА СТРЕМИТСЯ К ДОСТИЖЕНИЮ ОПРЕДЕЛЕННОЙ ЦЕЛИ



Рис. 13.3. Варианты отображения населения в различных моделях

В модели MexicoV, с ее временны́м диапазоном от двух до десяти лет, суммарная численность населения рассчитывается по неизменному коэффициенту прироста:

$$N_{(t)} = NG \cdot N_{(t-1)}$$

В этой формуле $N_{(t)}$ — численность населения в год t, $N_{(t-1)}$ — численность в предшествующий год, а NG — постоянная скорость роста.

В двух этих моделях население не делится на группы по возрастам и полу. Разделение на сельское и городское население нужно для того, чтобы рассчитывать доступную рабочую силу соответственно в сельском хозяйстве и промышленности, и единственная причина, по которой это приходится делать, — учет разницы в производительности труда. Рабочая сила даже не влияет на выпуск продукции. Суммарная численность населения используется только в расчетах душевых социальных показателей — ВНП и доступных доходов на душу населения.

Хотя подобное представление численности упрощено до предела, его вполне достаточно для целей систем CHAC и MexicoV. Для расчета немедленной прибыли на капитал, вложенный в системы орошения, или краткосрочных прогнозов на обобщенные экономические показатели не нужно расписывать половозрастную структуру населения. Для ограниченного временно́го диапазона этих моделей численность вполне можно считать постоянной либо меняющейся с фиксированной скоростью.

Однако в словесных описаниях моделей **CHAC и MexicoV их создатели** выражают обеспокоенность высокой безработицей в Мексике и чрезмерной миграцией из сельских районов в городские. Разработчики не могут отразить эти проблемы в модели не только потому, что численность населения показана упрощенно, но и по той причине, что выбранный короткий временной диапазон для этого непригоден. Разработчики ограничили свое исследование текущим моментом и вопросами, которые интересовали заказчиков, а эти темы не зависели от численности населения. Сделав такой выбор, создатели модели утратили возможность разобраться в долгосрочных проблемах, хотя сами они считали их важными, причем не только для себя, но и для интересов заказчиков.

Поскольку динамические изменения в структуре населения занимают многие годы, вполне логично, что долгосрочные модели более подробно описывали этот сектор. Три системы — RfF, TEMPO и **KASM — делают шаг в этом направлении. Фертильность и смерт**ность по-прежнему задаются как внешние переменные, однако уже воссоздаются инерционные эффекты за счет половозрастной структуры населения.

В модели KASM выбор фертильности и смертности как внешних значений оправдывается относительно коротким временны́м диапазоном — от 5 до 15 лет. Численность населения влияет только на экономический спрос и доступность рабочей силы в сельском хозяйстве. Подразделение на 180 групп по возрасту и полу здесь представляется избыточным. Но подсистема населения в модели использовалась и отдельно, чтобы выдавать подробные прогнозы по численности для агентств в Корее, ответственных за планирование. Для такой цели подобный уровень детальности вполне пригоден, но тогда, пожалуй,

стоило бы и фертильность со смертностью сделать внутренними переменными.

В модели **RfF разработчики выполняли пожелание клиента и рас**сматривали для роста численности два сценария — при двух и трех детях в семье. Это требовалось, чтобы выяснить, следует ли государству уделять пристальное внимание скорости роста и пытаться воздействовать на нее. В модели все население в целом определяет итоговый спрос по 185 секторам промышленности и таким путем косвенно задает уровень потребления ресурсов и объем выбросов в окружающую среду. Модель создавалась для промышленно развитой страны, в которой в будущем рождаемость и смертность вряд ли существенно изменятся. Заказчика интересовал размер семьи и возможность повлиять на него за счет государственных программ, хотя сам механизм такого воздействия нигде прописан не был. Можно сказать, что предположение о внешнем значении для скорости роста численности населения для такой цели вполне пригодно. Но и здесь столь подробное разделение населения на группы по полу и возрасту представляется избыточным.

В модели **TEMPO население было главным объектом изучения. За**казчик, финансировавший работы, интересовался именно этой темой. Модель носит образовательный характер; ее задача — заставить правительства задуматься и принять меры к ограничению роста численности населения. Система TEMPO учитывает влияние численности на потребление и уровень занятости, однако в ней нет обратной связи от экономического развития к населению. Фертильность и смертность изменяются внутренне, но только в результате миграции из сельских районов в города, и предполагается, что эти показатели у мигрантов меняются одномоментно и сразу становятся равными городским значениям. Внешняя политика также позволяет снижать фертильность — за счет простого вложения средств в программы планирования семьи. Население разбито на половозрастные группы с шагом в 5 лет, учитывается также его занятость в сельских работах или в современном промышленном секторе.

Когда система TEMPO только появилась, ее гипотеза о простой односторонней причинно-следственной связи вполне соответствовала поставленной цели и уровню знаний о динамике населения на тот момент. Представление о том, что родившиеся дети потреблять начинают немедленно, а производить начнут только через 15—20 лет, стало откровением для многих людей, кто раньше никогда не задумывался о таких вещах. Столь же новой идеей выглядело и вложение денег в ограничение рождаемости ради того, чтобы ускорить экономический рост, причем влияние таких инвестиций было больше, чем непосредственные вложения в производственный капитал. Однако, как и любая новая идея, модель TEMPO оказалась под огнем критики, в том числе

и за то, что население влияло на экономику, а обратного воздействия не было. Вероятно, именно существование системы TEMPO привело к тому, что разработчики будущих моделей усложнили демографические расчеты и учли в них связи, которых не было в TEMPO.

В еще четырех моделях — **LTSM, BACHUE, SOS и SAHEL — уже заложены** теории, согласно которым и население зависит от экономики, и экономика от населения. В трех из них (LTSM, BACHUE и SAHEL) реализуется демографический переход.

Предполагается, что индустриализация даже в самой простой своей форме приводит к демографическому переходу. По мере того как общество становится индустриальным (что отображается обычно изменением ВНП на душу населения), сначала снижается смертность, а несколько позже и рождаемость. Более сложные варианты теории учитывают еще и мобильность рабочей силы, уровни образования и другие факторы[1].

В модели **LTSM смертность снижается за счет более высоких** душевых доходов и внешних государственных программ. Рождаемость снижается в ответ на распространение образования, увеличение занятости женщин и, опять же, за счет внешних (бесплатных) правительственных программ контроля над рождаемостью. Ни образование, ни занятость резко изменяться не могут. Образование распространяется постепенно, по ходу смены поколений, и зависит от вложений государства в обучение, прежде всего, школьников. Уровень занятости зависит от капиталовложений в современные секторы производства.

Одна из причин разработки системы LTSM — желание изменить модель TEMPO за счет включения в нее теории демографического перехода. Правда, в результате получилась система, более далекая от действительности, чем оригинал. Она представляет последствия от роста численности населения менее разрушительными, но заодно демонстрирует инерцию, присущую демографическим процессам, и указывает на то, что изменения должны происходить через распространение образования и увеличение занятости.

В модели **BACHUE демографический переход прописан еще** подробнее. В ней, как и в **LTSM, смертность уменьшается с ростом** доходов — предполагается, что они обеспечивают лучшее питание и услуги здравоохранения. **BACHUE — единственная модель из девяти, кото**рая различает доходы богатых и бедных слоев населения и их влияние на изменение смертности.

Фертильность в модели **LTSM линейно зависит от четырех факто**ров: доли занятости женщин (R), количества неграмотных (I), ожидаемой продолжительности жизни на момент рождения (LE) и доли населения, занятой в сельском хозяйстве (EA). Коэффициенты уравнения определены регрессионными методами по данным для 47 раз-

вивающихся стран на 1969 г. В результате получено уравнение, описывающее скорость воспроизводства населения GRR:

$$GRR(t) = 4{,}67 - 0{,}006 \times R(t-1) + 0{,}1063 \times I(t-1) - \\ - 0{,}0446 \times LE(t-1) + 0{,}0059 \times EA\,(t-1).$$

За этим уравнением скрывается представление о том, что женская занятость увеличивает стоимость рождения и воспитания детей и тем самым снижает фертильность. Неграмотность и доля занятых в сельском хозяйстве характеризуют уровень образования и выгоды для семьи от большого количества детей как потенциальных работников семейного предприятия. Ожидаемая продолжительность жизни таит в себе представление о том, что большим количеством детей родители пытаются компенсировать высокую детскую смертность.

В модели **BACHUE предусмотрено 150 демографических категорий**, учитывающих возраст, пол, место проживания и уровень образования. В этом случае такая подробность оправданна, поскольку модель изучает вопросы занятости и распределения доходов. К тому же разработчики проверяли косвенное влияние на фертильность экономических факторов и искали прямые результаты программ снижения рождаемости. Их заключение гласит, что рост численности населения весьма чувствителен к экономическим изменениям. Результат нельзя назвать удивительным, учитывая имеющиеся весовые коэффициенты в уравнении, описывающем фертильность, его линейную форму и отсутствие сколь бы то ни было существенных запаздываний в отклике населения и рождаемости на социально-экономические изменения. Вместе с тем, создатели **BACHUE пришли к выводу о том, что изменения** фертильности имеют не очень большое влияние на экономическую систему. Если рождаемость снизится на 24%, как предполагает модель, то через 25 лет суммарное население будет всего на 9% меньше, чем если бы снижения не произошло, а душевой уровень доходов увеличится всего на 5%. Снижение фертильности, судя по всему, делает неравенство в распределении доходов только острее на ближайшие 30 лет (причина тому — уменьшение потребности в продовольствии и связанное с этим ухудшение условий труда в сельском хозяйстве), и лишь потом начинают происходить существенные улучшения. В любом случае начальные подвижки будут малы, эффекты станут проявляться очень медленно, поскольку поначалу изменения затрагивают только возрастную группу от 0 до 1 года. Только со временем, когда пройдет смена целого поколения, последствия станут ощутимы в масштабах всей системы.

В системе **SAHEL ее автора интересовала только одна стадия индустриализации**. Население в модели необразованное, однородное, оно замкнуто в пределах примитивной культуры, которая не перейдет к индустриальной сложности даже к концу весьма протяженно-

го временно́го диапазона. Пикарди, создатель модели, представляет смертность как отклик на два фактора — душевое потребление продовольствия и задаваемые извне системы услуги здравоохранения. По всем признакам это мальтузианская гипотеза, и она оправданна в мире, где население находится на грани выживания. В уравнении, описывающем рождаемость, Пикарди сочетает два предположения, которые на самом деле представляют собой механическое отображение демографического перехода, схожее с тем, что мы видим в моделях LTSM и BACHUE. «Стоимость обзаведения детьми» становится все больше при возрастании уровня благосостояния на душу населения, и через некоторое время это приводит к снижению фертильности. «Потребность в детях» зависит от смертности, и это тоже схоже с тем, что мы видели в модели BACHUE, — **общества, предполагающие высокую** детскую смертность, пытаются защититься от нее высокой рождаемостью, чтобы хоть кто-то из детей выжил. Пикарди закладывает в модель большее запаздывание по времени между снижением смертности и изменением фертильности, чем в модели BACHUE.

В нашем списке **SAHEL — единственная модель, в которой происходит** снижение численности населения. (В пяти других системах, где население задается внешними факторами, снижение его численности можно задать принудительно извне, но такие сценарии не тестировались.) Семьи, занимающиеся выпасом скота, как бы грубо это ни звучало, разводят детей точно так же, как коровы приносят телят, — такое поведение диктуется личными интересами. Оно рационально; в этой культуре считается, что плодовитость — благо как с экономической точки зрения, так и с точки зрения затрат и рисков деторождения.

Хотя в этой модели предполагается демографический переход, она также допускает, что он будет прерван или даже обращен вспять, если пределы по ресурсам дадут о себе знать слишком рано или если экономический рост не сможет угнаться за численностью населения. Для того чтобы изменилась фертильность, нужно много времени. Наличие в модели **SAHEL ограничений по ресурсам и вариантам расширения экономики** принципиально отличает ее от систем LTSM и BACHUE, хотя в них тоже предполагается демографический переход.

В оставшейся модели, **SOS, рост численности населения представлен** как саморегулирующийся процесс, стремящийся к определенной цели. Рост идет непрерывно до тех пор, пока не возникает ситуация, в которой спрос по многим направлениям остается неудовлетворенным долгое время. Это приводит к падению рождаемости и росту смертности до того момента, пока потребление не выйдет на прежний уровень. Такое поведение населения — последний, отчаянный шаг после того, как перепробованы все прочие варианты: замена одних ресурсов другими, перенаправление инвестиций, расходы на государственные программы и даже осознанное снижение планки для материального

уровня жизни. Подобное поведение — результат гипотезы об относительной значимости социальных факторов: фертильность и смертность превалируют над другими социальными целями и начинают меняться только тогда, когда материальное благосостояние становится настолько низким, что речь идет уже об элементарном выживании. Подобное предположение мало влияет на поведение модели, если учесть ее начальные условия — данные по США и 30-летний временной диапазон. За это время материальный уровень не успевает снизиться в такой степени, чтобы это вызвало изменения в демографических параметрах. В тех редких условиях, когда изменения все же происходили, разработчики расценивали сценарии как неправдоподобные.

3. Выводы и комментарии

В девяти моделях содержатся утверждения о четырех принципиальных гипотезах роста численности населения.

1. Рост численности происходит независимо от социально-экономических событий. Численность можно предсказать, адаптироваться к ней, но нельзя изменить с помощью социальных мер.
2. Рост численности населения — основной фактор, отрицательно влияющий на экономический рост, использование ресурсов и объемы выбросов в окружающую среду. Необходимо создавать и поддерживать социальные программы по снижению скорости роста.
3. Рост численности влияет на экономический рост не очень существенно, и это влияние скорее положительно. Население увеличивается одновременно с ростом экономики и стабилизируется в тот момент, когда достигнут определенный уровень индустриализации. Социальным программам следует сосредоточиться на обеспечении благосостояния и экономического развития, а не на ограничении скорости, с которой растет численность населения.
4. Рост численности населения — составная часть социально-экономической системы, он влияет на индустриализацию, а она влияет на него, при этом в системе есть временно́е запаздывание, а ее элементы преследуют скорее личные, чем коллективные цели. Рост численности может иметь как положительные, так и отрицательные последствия, служить стабилизирующим или дестабилизирующим фактором в зависимости от того, каковы личные цели и продолжительность запаздывания. Социальная политика должна учитывать рост численности населения и регулировать его за счет изменения личных целей и предоставления людям информации для принятия решения.

> Личные решения должны учитывать в первую очередь совокупное благосостояние общества, а не краткосрочные эгоистичные интересы.

Обратите внимание: это *гипотезы*, а не выводы. Они определяют структуру модели, а не следуют из нее. Каждая группа разработчиков начинала с какой-либо из этих гипотез, а затем строила вокруг нее математический аппарат, который просчитывал последствия. В реальном мире можно найти какие-то подтверждения для всех четырех гипотез, иначе их никто и рассматривать бы не стал. Строго говоря, наблюдавшиеся в мире процессы демографического перехода ни в чем не противоречат этой четверке, но только последняя из них может считаться по-настоящему целостной и полностью соответствующей системной теории. Пожалуй, именно она — пример той сложной системы, для решения которой использование компьютера обязательно, поскольку иными способами здесь обойтись нельзя.

Модели не могут ни подтвердить, ни опровергнуть все четыре гипотезы — они позволяют лишь детально изучить их следствия и достичь глубокого понимания демографических процессов. К примеру, шесть моделей из девяти учитывают возрастную структуру, а это довольно точно описывает население. Учет демографических показателей — тема не новая, особой трудности не представляет, но в мысленных моделях таких представлений нет — они не в состоянии отслеживать одновременно большое количество возрастных категорий. Мысленные модели очень недооценивают инерцию демографических процессов, а компьютерные позволяют учесть ее с высокой точностью. Некоторые из них особо подчеркивают, что для того, чтобы стали заметны изменения (например, в образовании), программы необходимо непрерывно проводить на протяжении как минимум 30 лет. Такие сроки в заявлениях политиков не встречаются почти никогда...

Компьютер хорош еще и тем, что позволяет рассчитать взаимодействие противоположных тенденций, работающих одновременно, но толкающих систему в разных направлениях. Например, в моделях BACHUE и **SAHEL предполагается, что уменьшение смертности мо**жет привести к снижению рождаемости, поскольку родителям уже не нужно будет иметь столько детей «про запас», чтобы компенсировать детскую смертность. Но при этом уменьшение смертности немедленно и неизбежно вызывает увеличение скорости роста численности населения. Поэтому на практике снижение детской смертности всегда вызывает рост численности, причем на протяжении довольно долгого времени. Снижение смертности по многим причинам можно только приветствовать, но как рычаг для регулирования численности ее рассматривать нет никакого смысла. На самом деле то, что снижение смертности часто приводят как способ ограничить рост[2], как раз и говорит о том, что мысленные модели в своей массе не позволяют учесть

одновременно положительные и отрицательные последствия одного и того же явления.

Расчетные возможности компьютеров могут оказаться очень полезными в одних условиях, но увести в сторону и окончательно все запутать в других. Чтобы описать базовую динамику населения с учетом возрастов, достаточно всего четырех категорий[3]. Лишь очень немногим моделям действительно нужна высокая точность в описании населения. Если население в модели разбито на десятки, а то и сотни групп, но при этом рождаемость и смертность задаются извне, то система одновременно чрезмерно усложнена в одном и слишком упрощена в другом. Если рождаемость и смертность в системе не зависят ни от чего и задаются извне, то подробнейшее половозрастное распределение вообще бессмысленно, его нельзя оправдать ничем. В лучшем случае такая модель будет сбивать с толку. В худшем — в ней будут содержаться те самые несоответствия, ради избавления от которых и применяется моделирование. Если рождаемость и смертность реального населения действительно непрерывно и существенно изменяются в ответ на экономические события и изменение окружающей среды, если демографические изменения затем влияют на экономику и природу, тогда никакие внешне заданные прогнозы не позволят правильно учесть эти обратные связи и взаимные влияния. Даже если внешние прогнозы построены на очень четких мысленных моделях и все лежащие в основе модели положения верны, ее поведение все равно не будет реалистичным.

Практически во всех моделях фигурирует параметр ВНП на душу населения или душевое потребление продовольствия. Если знаменатель в этих параметрах увеличивается, то само значение неизбежно должно уменьшаться, это полезно помнить всегда. Две модели настаивают, что прямое расходование средств на планирование семьи автоматически вызовет снижение рождаемости, причем оно будет происходить мгновенно и по линейному закону. Три модели полагают, что инвестиции в образование, в капитал, приводящий к росту занятости, и в развитие городских территорий, позволяют косвенным путем и при этом довольно медленно снижать фертильность. Лишь один разработчик отмечает, что слишком быстрое уменьшение смертности может подорвать ресурсную базу и замедлить экономическое развитие. Ни одна система не предлагает использовать информацию, примеры, стимулы или конкретные идеи о том, как влиять на решение заводить или не заводить детей, хотя Пикарди поднимает эту тему в своих статьях.

Мысленные модели могут предложить гораздо больше разных гипотез о причинах и способах ограничения численности, чем любые компьютерные модели. Ежедневная жизнь и культурная среда полны довольно точных теорий о том, кому и когда стоит заводить детей, о влиянии социальных норм, о причинах, чтобы принять или отверг-

нуть программы планирования семьи, о том, как экономическое положение влияет на решения людей. Но очень немногим правительствам удалось построить на основе подобных мысленных теорий успешные демографические программы. Китаю и Сингапуру, похоже, удалось достичь низких значений рождаемости, а Венгрия осознанно стимулировала ее и добилась высокого уровня. Все они руководствовались информацией о том, какие затраты несут семьи и какие преимущества получают, когда решают завести детей[4]. Девять моделей, описанных в нашем обзоре, уступают в полноте словесным моделям, которые использовали правительства перечисленных стран (хотя с точки зрения расчетов они оперируют гораздо бóльшим количеством параметров). Они уступают даже качественным наблюдениям, которые приводятся в любых современных учебниках по демографии.

13.2. Производство и распределение

Производство товаров и услуг и их распределение между потреблением и инвестированием в будущее — основа процесса индустриализации. Нет ничего удивительного в том, что эти элементы составляют ядро всех девяти моделей. На самом деле, все разработчики экономических моделей с того момента, как эта область знаний вообще возникла, были озадачены главным вопросом: как математическими функциями описать процессы производства, потребления и инвестирования?

Мы рассмотрим эти три функции вместе, потому что в моделях их нельзя изучать по отдельности. Некоторые виды производственных функций требуют, чтобы уравнения для инвестиций и потребления проверялись на математическую и методологическую непротиворечивость.

1. Мысленные модели

Если бы мы могли попросить описать современное промышленное производство какого-нибудь наблюдателя со стороны, не имеющего предварительной подготовки, непредвзятого — например, инопланетянина или человека из другого времени — то он наверняка перечислил бы в первую очередь огромные добывающие шахты, извлекающие из недр Земли полезные ископаемые; затем заводы и цеха, извергающие дым и пар; раскаленные печи; шумные прокатные станы; потоки транспорта, перевозящего сырье, продукцию, товары и работников, едущих на завод и обратно; складские комплексы с готовой и промежуточной продукцией; механизированные и полностью автоматические конвейеры, станки и устройства, выполняющие задачи, для которых требуются невообразимые сила, точность и производительность. Если бы тот же наблюдатель описывал работы в аграрном секторе, то он упомянул бы почвы, солнце, воду, семена, сельскохозяйствен-

ную технику разных видов, удобрения, вредителей (как растения, так и животных), пестициды, элеваторы и бункеры, помещения для сушки и обработки сельхозпродукции и, разумеется, фермеров, сельскохозяйственные сообщества и семьи. Наш наблюдатель пришел бы к выводу о том, что производство в промышленно развитом обществе — очень сложный, многоэтапный процесс, причем каждый шаг требует, чтобы множество факторов сошлись в нужное время в нужном месте. Он отметил бы и тяжелые, гнетущие условия труда, незаконные свалки ядовитых отходов и колоссальную разницу между уровнями жизни работников и тех, кто ими руководит.

Разумеется, это только поверхностный взгляд на процесс производства — он позволяет заметить только верхушку айсберга. Человек, разбирающийся в бизнесе, добавил бы к списку запасы, будущие рынки, управленческие решения, инвестиции, кредиты, потоки наличных средств, уровни доходности, рекламу, научно-исследовательские и конструкторские разработки — все это тоже важные составляющие производства. Они не бросаются в глаза, но так же важны для производства, как и сырье, рабочие руки и заводские мощности. Биолог добавил бы к сельскохозяйственным факторам информационные составляющие: селекцию и генетический отбор разных культур, постепенный биохимический процесс поглощения растениями воды и питательных веществ из почвы, преобразование и запасание солнечной энергии, негативные и благоприятные факторы от внешних источников, которые сказываются на каждой стадии (прополка, орошение, борьба с вредителями, поддержка насекомых-опылителей и естественных способов защиты растений и многое другое). Все эти понятия носят информационный характер и не менее важны, чем явные составляющие производства, заметные, что называется, невооруженным глазом. И все равно список был бы неполон.

На все эти описания подспудно влияет современное представление о том, что производство имеет место на организованных фабриках и заводах, что продукция поступает на рынок, где за нее платят деньги. Такие взгляды не учитывают, что огромное количество производственных процессов в мире идет вне организаций, нецентрализованно, точечно: в домашних хозяйствах пекут хлеб, на фермах изготавливают сельскохозяйственные орудия и инструменты, люди держат огороды и разводят сады, сами строят себе дома, шьют одежду... Объемы такой деятельности, насколько нам известно, могут оказаться даже больше, чем официально учитываемое организованное производство.

Производственные процессы зависят от инвестиций, сделанных в прошлом, и средств, вложенных в обучение работников, создание запасов, накопление технических знаний, постройку заводских мощностей. Важен даже стиль ведения дел. Создаваемую продукцию принято делить на две принципиально разных категории: потребительские

товары (хлебобулочные изделия, снегоходы, романы — все то разнообразие, что предназначено для людей и производится для удовлетворения их физических и духовных потребностей) и то, что вкладывается в будущее производство (семена пшеницы, трактора, станки, заводская документация и прочие наименования, необходимые для дальнейшей производительной деятельности). Многие теории развития полагают, что основная проблема индустриализации — распределение продукции между этими двумя направлениями. Это вечный крест тех, кто принимает решение: направить больше на дальнейшее производство — значит, дать людям меньше на непосредственное потребление. Такой выбор приходится делать постоянно. Даже самое примитивное общество обладает достаточной мудростью для того, чтобы беречь семенной фонд: если съесть зерно сейчас, нечем будет засевать поля, тогда не видать следующего урожая. Социальное решение о том, что сохранить на будущее, а что потратить сейчас — принципиальная основа экономического развития.

Как в реальных экономических системах решается, что потребить, а что инвестировать? В одних случаях для этого используется централизованное планирование — примером тому служат страны со строго контролируемой экономикой. Ни одно из государств, упомянутых в нашем обзоре, не обладает полностью плановой экономикой, но во всех случаях роль властей достаточно велика: они делают инвестиции за счет того, что ограничивают потребление — эту функцию выполняет система налогообложения и взимаемые ею отчисления. В большинстве моделей государственные инвестиции представлены в виде внешних факторов. Они представляют собой самые важные политические решения, действенность которых обязательно нужно проверять. В частном секторе ситуация иная. Потребление и инвестиции, как и рост численности населения, зависят от миллионов личных решений, сливающихся в общий результат. Потребители оценивают свои доходы и сравнивают их с желаниями, запасами вещей, которые у них уже есть, учитывают кредитную задолженность или наличие свободных средств на счете, доступность товаров в продаже, цены... Имеет значение и реклама. В итоге каждый потребитель решает, купить ли, что именно, когда, где, за сколько. Руководители корпораций действуют по той же логике: оценивают состояние складских запасов, задействованные мощности, баланс средств на счетах, деятельность конкурентов, результаты продаж, сотни других разных факторов и решают, отложить ли техническое обслуживание на потом или провести его сейчас, поддержать или расширить капитал (а может, заявить о банкротстве), организовать новое предприятие... Финансисты и коммерсанты собирают как можно больше информации обо всех новых возможностях, выбирают из них потенциально самые привлекательные (приносящие максимальную прибыль, окупающиеся быстрее

всего, имеющие наименьший риск, а иногда те, что рекомендуют эксперты, обладающие наибольшим красноречием и умением убеждать). Деньги вкладывают именно в эти виды деятельности.

Вероятно, самая большая загадка во всем этом — как все отдельные решения влияют друг на друга. Решения корпораций о том, какие платить зарплаты, очевидно, влияют на доходы потребителей. Это сказывается на потребительских привычках и объемах покупок, что влияет на складские запасы, цены, программы продаж и скидок, средства на банковских счетах, которые сами банки используют для вложений и кредитования (в том числе организаций). В итоге круг замыкается, и мы возвращаемся к корпорациям и их решениям о величине зарплат. Если все заказчики, потребители и инвесторы решат заказать или потребить больше (стали, грузовиков, пшеницы — любых товаров и средств), чем есть у поставщиков, склады начнут пустеть, появятся задержки с доставкой, напряженность на кредитном рынке, повысятся цены... Будут применяться все меры, чтобы перераспределить нехватку и умерить аппетиты общества в соответствии с имеющимися ограничениями экономики. Ситуация дополнительно осложняется, если учесть, что решения о потреблении и инвестировании совсем не обязательно дают мгновенный и предсказуемый эффект. Их влияние на предложение и спрос на рынке может оказаться совершенно неожиданным. Потребители могут упорствовать в прежних привычках даже в новых условиях, у них может не быть точной информации о текущей ситуации, они могут месяцами раздумывать, покупать ли серьезную и дорогую вещь — автомобиль, квартиру, дом... Для того чтобы построить большое новое производство, например целлюлозно-бумажный комбинат или атомную электростанцию, требуются многие годы. Когда же они вводятся в эксплуатацию, вполне может оказаться, что выпуск продукции, количество вырабатываемой энергии или цены на них не совсем такие, как предполагалось. Как сделать четкую, непротиворечивую модель, которая описывала бы продажи и покупки, инвестирование и сбережение средств, события на микро- и макроуровне? Эта проблема не решена до сих пор. Над ней бьются и те, кто разрабатывает мысленные модели, и создатели компьютерных систем, несмотря на то, что сейчас экономика располагает мощными математическими методами.

2. Компьютерные модели

Модели в нашем обзоре описывают производство, потребление и инвестиции с помощью четырех основных механизмов (см. рис. 13.4).

1. *Движущий фактор — спрос*. Производство определяется экономическими потребностями, спросом, а его в свою очередь составляют потребление и инвестиции. Если известно, *что* определяет потребление и инвестиции (численность населения,

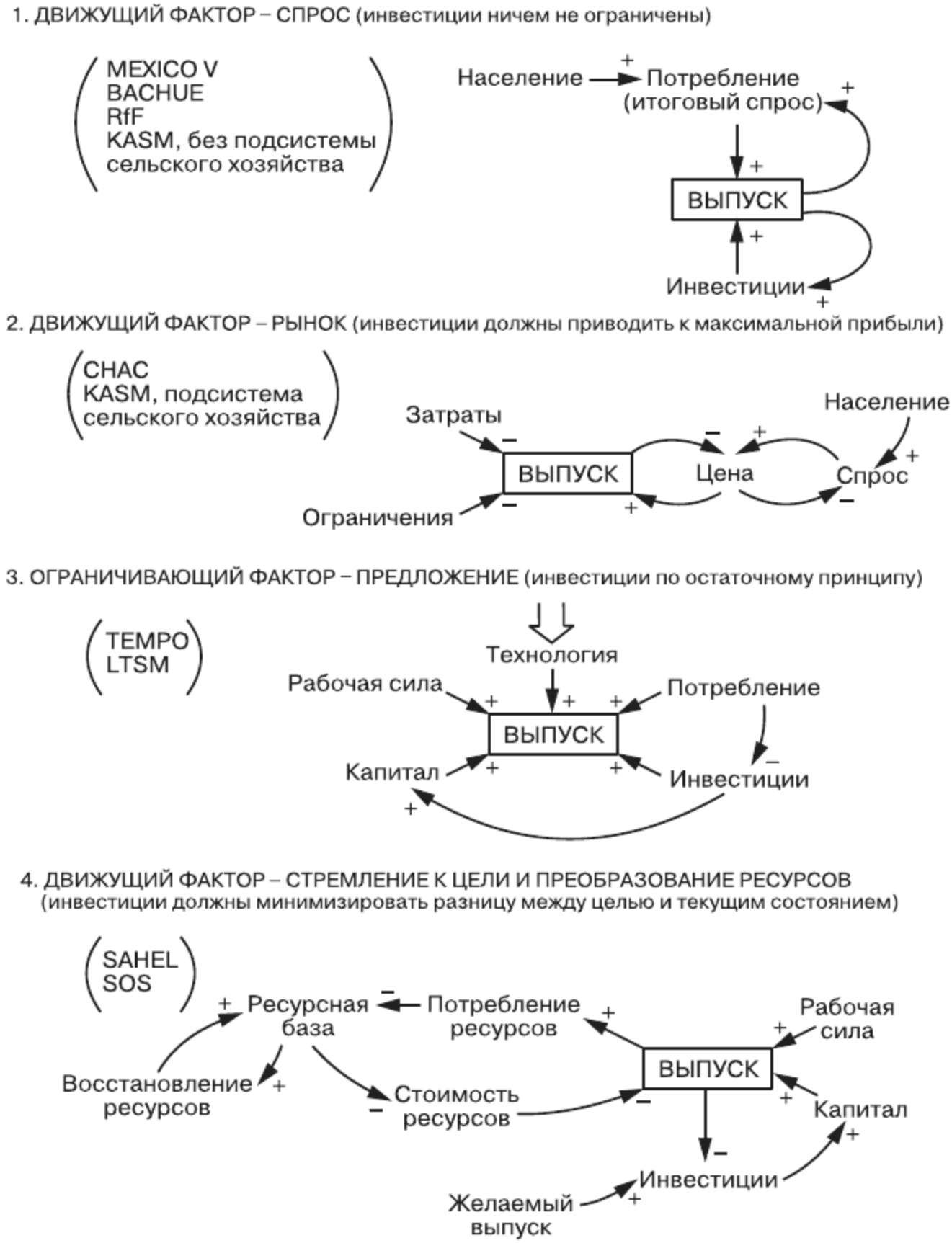


Рис. 13.4. Производственные функции

доходы, процентные ставки...), то объем производства легко рассчитывается напрямую.

2. *Движущий фактор — рынок*. Производство, потребление и инвестиции определяются одновременно через ценовой механизм; обобщенные решения стремятся увеличить прибыль и полезность для потребителей (естественно, в рамках физических и финансовых ограничений системы).

3. *Ограничивающий фактор — предложение*. Производство ограничено одним или более факторами, описывающими нехватку чего-либо — как правило, капитала и/или рабочей силы. Потребление зависит от численности населения и доходов. Инвестиции представляют собой все, что осталось от произведенной продукции после того, как часть ее забрали на потребление.
4. *Движущий фактор — стремление к цели и преобразование ресурсов*. Производство представляет собой превращение сырья в полезную продукцию, оно ограничено и ресурсами, и капиталом, и рабочей силой. Потребление и инвестиции регулируются, чтобы минимизировать расхождение между желаемым и фактическим состояниями системы.

Самый простой подход из четырех перечисленных — тот, в котором движущим фактором считается спрос. Основное предположение в таких моделях гласит, что экономический спрос — ключевое ограничение во всей системе производства. Если на рынке есть спрос, то он будет удовлетворен немедленно, без какого-либо запаздывания, за счет заводов, сырья, энергии и рабочей силы.

Именно такой принцип лежит в основе модели **MexicoV. Расчет ведется** по трем производственным функциям: первичной (сельскохозяйственной), вторичной (промышленной), третичной (сфера услуг).

Первичный выпуск = 1,54792 + 0,17425 (частное потребление) + + 1,15516 (экспорт сельскохозяйственной продукции)

Вторичный выпуск = −4,16634 + 0,63336 (суммарные инвестиции) + + 0,35448 (суммарное потребление)

Третичный выпуск = −2,06446 + 0,59023 (туризм и приграничный экспорт) + 0,57309 (суммарное потребление)

Совершенно очевидно, что такая модель не может быть буквальным отражением производственного процесса. Если запас капитала в системе уменьшится сразу вдвое, вторичное производство снизится всего лишь на малую долю (инвестиции частично определяются капиталом), а другие виды выпускаемой продукции вообще не будут затронуты. Проблемы с рабочей силой, перебои в поставках сырья и энергии тоже не повлияют на производство — таковы приведенные формулы. Разумеется, вносить такие резкие изменения в систему некорректно, она не рассчитана на исследование резких скачков и провалов, а предназначена для краткосрочного прогнозирования экономики при ее плавной работе, без каких-либо потрясений. Все три формулы получены из анализа поведения мексиканской экономики за предшествующие несколько лет. Если причины такого поведения

в ближайшие годы не изменятся, то модель будет пригодна для заявленной цели.

Потребление и инвестиции в модели **MexicoV определяются с помощью** четырех отдельных уравнений:

Частное потребление = *f* (доступные доходы на душу населения/запаздывание)

Государственное потребление = *f* (налоги)

Частные инвестиции = *f* (капитал, скорость изменения ВВП/запаздывание)

Государственные инвестиции = *f* (налоги, государственные банковские кредиты, скорости изменения государственного долга)

Все эти функции линейны, корреляции положительны, а коэффициенты определены по данным, накопленным за прошлые периоды. Эти четыре показателя вместе с параметрами наполняемости складов и курсами валют используются для расчета ВНП. Три уравнения, описывающих выпуск продукции, позволяют рассчитать ВВП. Между выпуском продукции, потреблением и инвестициями связи не предусмотрены, за исключением общих параметров, которые определены по реальным значениям этих показателей в прошедшие годы.

Подобный подход мало что меняет в понимании причинно-следственных связей, лежащих в основе роста мексиканской экономики. Но он, по крайней мере, дает честные результаты, когда применяется так, как это предусматривал автор модели, Бельтран дель Рио. Он не претендовал на знание всех ожиданий, желаний и стремлений, приводящих экономическую систему в движение. Вместо этого он определял статистические связи между измеряемыми параметрами, существовавшие в прошлом, а затем предполагал, что те же связи продолжат действовать и в будущем. Для краткосрочного прогнозирования этот метод вполне приемлем. Но для проверки стратегий такая модель не годится, особенно если они затрагивают потребление или инвестиции. Например, на ней нельзя проверить влияние процентных ставок или льготного кредитования на частные инвестиции. Не поможет она и оценить последствия для производства от ограничений на импорт нефти.

Три долгосрочных модели из нашего обзора тоже используют производственную функцию, управляемую спросом, но в гораздо более сложной форме — с помощью матрицы «затраты-выпуск» (это RfF, BACHUE и те части модели KASM, которые не относятся к сельскому хозяйству). В них принципиальное предположение тоже состоит в том, что выпуск продукции ограничен единственным фактором — величи-

ной итогового спроса. Однако на сей раз и спрос, и выпуск разделены на множество промышленных секторов, и в моделях учитываются потоки между отраслями. Связи между денежным значением затрат и выпуска постоянны, пока внешний прогноз не сместит их, как, например, в модели **RfF. Но в целом все три системы представляют собой** «мгновенный срез» потоков между отраслями, характеризующий конкретный год. Картина представлена подробно, с ростом экономики каждая часть пропорционально увеличивается, но соотношения остаются неизменными.

Хотя модели «затраты-выпуск» потенциально могут отражать слияние инвестиций в суммарные запасы капитала, а затем показывать, как эти запасы влияют на производство и будущие инвестиции, тем не менее ни одна из моделей в обзоре этого не делает, и проблема распределения в них не возникает. Выпуск продукции всегда достаточен, его хватает и на инвестиции, и на потребление. В модели **BACHUE** есть небольшое отклонение от этого правила — верхний предел для роста экономики установлен на уровне 7% в год. Если желаемое потребление и инвестиции начинают превышать эту планку, то оба показателя пропорционально снижаются, чтобы в сумме они вписались в предусмотренное ограничение.

Поведение системы, управляемой спросом, зависит только от того, как рассчитывается спрос. В модели RfF он определяется на основе внешних прогнозов по росту численности населения, государственным расходам и ВНП. Все оценки основаны на постоянном экспоненциальном росте, поэтому система в обязательном порядке с каждым годом производит все больше и больше. В моделях **KASM и BACHUE ито**говый спрос рассчитывается как функция от доходов, которые в свою очередь определяются величиной производства за предшествующий год. Больший спрос приводит к большему выпуску, который создает больше доходов, которые генерируют еще больший спрос, — вот почему в этих системах происходит экспоненциальный рост производства. Единственная причина, по которой экономический рост может замедлиться или прерваться, — рост численности населения еще более быстрыми темпами, настолько высокими, что уменьшаются доходы на душу населения. Но на деле численные параметры модели не допускают подобного развития событий. Ни одна из перечисленных систем не может породить экономический цикл взлетов и спадов или другое необычное поведение. Его можно получить, только навязав извне, за счет внешних факторов.

Создатели моделей BACHUE и KASM видят в своих творениях инструмент для выработки общей стратегии, а RfF создавали для оценки запасов и потребления ресурсов в США в долговременной перспективе. Для этих целей, в особенности для выявления изменений в использовании ресурсов, энергии и технологий в ближайшие 30 лет, скорее

пригодились бы не столь глубокие, но более широкие отражения производственного процесса, которые позволили бы оценивать альтернативные стратегии и могли выдавать принципиально иные результаты. Для общего планирования в модель обязательно нужно включать распределение инвестиций, хоть в какой-нибудь форме, а также учитывать возможные ограничения.

В двух моделях, CHAC и сельскохозяйственном секторе KASM, спрос влияет на производство только косвенно, посредством свободного рынка. Растущий спрос на товар ведет к увеличению цены, из-за этого растут прибыли поставщиков, им становится выгодно произвести больше такой продукции. Но существуют и ограничения, которые могут препятствовать предложению. Более того, высокие цены могут вызвать снижение спроса. В этих моделях спрос зависит от численности населения и доходов, на него влияют и относительные цены на определенные группы товаров (см. рис. 13.4). В зависимости от цен фермеры принимают решения о том, какие виды экономической деятельности им выгодны. Все это, вместе с начальными затратами и ограничениями по ресурсам, влияет на предложение. Спрос, предложение и цена рассчитываются одновременно, чтобы между ними не было внутренних противоречий. Обе модели подробно изучают многочисленные физические факторы, необходимые для производства сельскохозяйственной продукции (земля, рабочая сила, вода, удобрения, техника, кредиты и пр.). Все они учитываются как ограничения, не позволяющие системам использовать больше ресурсов, чем есть в наличии.

В статической модели CHAC **невозможно оперировать долгосрочными** инвестициями. Она для этого не предназначена, поскольку настроена на учет инвестиций в годичные средства производства (например, удобрения). Максимум, что может учесть модель, — эффект от вложений за один год в некоторые постоянно действующие программы (например, поддержание сети оросительных каналов). Это описывается внешними параметрами. Краткосрочные инвестиции фермеров рассчитываются по системе уравнений; их величина такова, что суммарное предложение приведет к равновесию на рынке в точке, где выгоды производителей и потребителей максимальны. Функция потребления в модели CHAC **для каждого вида товара зависит от** дохода и цены, при этом до определенного предела можно заменять один вид продукции другим.

Модель KASM, рассчитанная на долгосрочное прогнозирование и созданная для заказчика из аграрного сектора, содержит довольно подробное отображение инвестиций в сельское хозяйство. Оптимизационная программа, описывающая решения фермеров в сфере производства, оперирует производственным капиталом разных видов, подразделяя его на сельскохозяйственную технику, здания и сооружения, поголовье скота, рабочий капитал. Инвестиционные реше-

ния принимаются ради увеличения прибыли; они ограничены такими факторами, как доступность денежного капитала и кредитных средств. Многочисленные государственные программы могут влиять на инвестиции, если они позволяют уменьшить препятствия, предлагают новые варианты вложений или, например, регулируют цены на сырье. Запаздывание между вложениями и производством, а также задержки в распространении технологий задаются в явном виде.

Ни одна из этих моделей не включает в себя принятие решений в явной форме, касается ли это производства, цен, инвестиций или потребления. Это всегда отвлеченные представления параметров, которые экономическая теория считает обобщенными результатами, полученными по совокупности отдельных решений. Такие модели не могут ответить на очень важный вопрос: может ли вообще реальная система работать в соответствии в заложенной в модель теорией? Или хотя бы на такой: при каких условиях может, а при каких нет? Модели не могут ответить на вопросы о том (и даже не могут поставить их!), как меняется поведение системы на макроуровне, если воздействовать на решения, принимаемые на микроуровне.

Оставшиеся четыре модели (LTSM, TEMPO, SAHEL и SOS) не управляются спросом — на них влияет ограничение предложения. Производство рассчитывается как функция от доступности жизненно важных ресурсов, а затем спрос (инвестиции плюс потребление) тем или иным способом приспосабливается к доступному предложению.

Модель LTSM основана на избытке рабочей силы — рабочие руки в ней не считаются лимитирующим фактором. Секторы современного производства представлены с помощью производственной функции Харрода-Домара:

$$\text{Выпуск} = \text{Капитал} / \text{Капиталоемкость}$$

Восемь показателей капиталоемкости для восьми секторов промышленности, а также всевозможные технологические и управленческие показатели задаются извне. В каждой отрасли предусмотрен коэффициент автоматического улучшения технологий. В традиционном (сельскохозяйственном) секторе зависимость такова:

$$\text{Выпуск} = \text{Земля} \times \text{Урожайность с единицы площади}$$

Урожайность зависит от капитала и годичных затрат без сокращения дохода. Использование дополнительных факторов производства автоматически увеличивает сельскохозяйственный выпуск, и наоборот.

В модели TEMPO рабочая сила и капитал считаются потенциально лимитирующими факторами. В современном секторе экономики используется производственная функция Кобба-Дугласа:

$$\text{Выпуск} = f\,(\text{капитал, рабочая сила, технологии})$$

При этом здесь технология задается извне и растет по экспоненциальному закону. В секторе сельского хозяйства выпуск зависит только от рабочей силы, и для нее предполагается сокращение дохода.

И модель LTSM, и TEMPO ищут компромисс между инвестициями и потреблением: из имеющегося выпуска вычитается продукция для потребления, и то, что осталось (если оно вообще есть), отводится на инвестиции, которые затем добавляются к запасу капитала (из него в свою очередь вычитается фиксированная доля на амортизацию). В модели TEMPO потребление линейно зависит от численности населения и ВНП, учитывается также внешний фактор — государственные расходы. В модели LTSM суммарное потребление определяется как произведение численности населения на душевое потребление, которое увеличивается со скоростью, зависящей от скорости роста национального дохода на душу населения. Подобная функция ответственна за стремление капитала к экспоненциальному росту, при этом увеличение численности населения замедляет рост капитала, поскольку отвлекает средства от инвестирования и забирает их на потребление. Модель также учитывает, что потребление и инвестиции должны быть в равновесии с вещественных позиций, поскольку потребить или инвестировать что-либо, что еще не произведено, можно только в финансовой системе, не имеющей физического воплощения.

Такие ограниченные по предложению секторы экономики в общем и целом соответствуют прежним этапам развития мировой экономики в долгосрочном масштабе. В зависимости от конкретных параметров системы могут воспроизводить практически любое поведение — от экономического застоя до быстрого роста. Обе модели имеют склонность к быстрому росту за счет бесплатного и постоянно ускоряющегося совершенствования технологий. В модели LTSM на это накладывается еще и принципиальная невозможность сокращения доходов. Такие условия позволяют описать связи между ростом численности населения, потреблением, инвестициями и выпуском экономической продукции только в самых общих чертах. Они имеют слишком примитивную, жесткую, обобщенную форму, чтобы давать сколько-нибудь точные прогнозы или проводить проверку полезности для разных стратегий.

Все производственные функции в описанных моделях измеряют и затраты, и выпуск в денежных единицах. Только в двух системах — SAHEL и SOS — предпринята попытка описать производство как физический процесс, превращающий сырье в товары и услуги, попутно приводящий к появлению отходов. В этих моделях производство может быть ограничено не только капиталом и рабочей силой, но и стоимостью и недоступностью ресурсов. Системы SAHEL и SOS отличаются от остальных еще и тем, что описывают потребление и инвестиции как процессы с обратной связью, стремящиеся к определенной цели,

причем она формулируется на основе четко прописанных социальных приоритетов и правил для принятия решений.

В модели SAHEL социальная структура задается явно и стремится к четырем целям.

1. Желаемое количество молока на душу населения.
2. Желаемое количество немолочной продукции на душу населения.
3. Желаемый уровень благосостояния.
4. Желаемая социальная инфраструктура (запас «на черный день», мера стабильности и безопасности на случай непредвиденных погодных условий).

Последние две цели могут быть переменными, первые две — постоянны. Текущее количество молока, немолочной продукции, уровень благосостояния и социальная инфраструктура сравниваются с целями, и на принятие решения влияет наибольшее расхождение между этими показателями. Племя выбирает, сколько скота забить, чтобы получить мясо и другую животноводческую продукцию (влияющую в том числе и на уровень благосостояния), а какую часть стада сохранить как дойный скот. И такой выбор делается каждый год. Довольно простая система, имеющая всего четыре цели, может порождать очень сложное поведение по мере того, как социальные приоритеты меняются в ответ на факторы окружающей среды. Представление целей и принятие решений для их достижения основаны на предположениях о том, какие культурные предпочтения существуют у кочевых племен Сахельского региона, и во многом это ничем не подкрепленные догадки.

В модели **SOS Хаус и Уильямс пытаются построить общий вид производственной функции**, применимый к любому процессу производства в любое время. Они начинают с уравнения, которое делает денежные потоки фактором, сильнее всего ограничивающим систему:

$$\text{Выпуск} = (\text{фонды, доступные для выпуска продукции}) \times \\ \times (\text{затраты на единицу выпуска})$$

Доступные фонды для выпуска продукции в каждом секторе производства зависят от выпуска за предшествующий период за вычетом расходов на обслуживание, расширение производства и очистку выбросов. Поскольку доступные для выпуска фонды увеличиваются вместе с выпуском за предыдущий период, система способна экспоненциально расширяться. Однако этот рост может быть прерван из-за другого фактора — затрат на единицу выпуска. Он определяется по формуле

$$\text{Затраты на единицу выпуска} = (\text{затраты на единицу ресурса}) \times \\ \times (\text{ресурс на единицу выпуска})$$

Из-за этого уравнения любой фактор производства может стать лимитирующим и ограничить выпуск. Ресурсы на единицу выпуска зависят от рабочей силы, земель, энергии и сырья, связанных с каждым сектором производства. По мере выпуска продукции ресурсная база может истощиться, что ведет к увеличению цены на единицу ресурсов. Система приспосабливается, начинает использовать меньше ресурсов на единицу продукции, но это возможно только до определенного предела: модель SOS не позволяет выпускать физическую продукцию «из ничего». Растущие затраты на ресурсы в какой-то момент могут остановить и даже обратить вспять экспоненциальный рост выпуска.

В модели SOS проблема распределения не формулируется в четких понятиях потребления и инвестиций как конкурирующих направлений. Вместо этого оперативные фонды, доступные для выпуска, разделены на доли, направляемые на производство привычным способом, расширение мощностей, очистку выбросов в окружающую среду и техническое обслуживание. Разделение производится в соответствии с заранее указанными социальными целями, пороговыми значениями и правилами, предписывающими, какие стратегии и в каких условиях применять. Подобный механизм, конечно, интересен — с ним можно попробовать разные настройки в системе, ограниченной по доступности ресурсов. Но увязать централизованный механизм распределения с принципиально децентрализованными и нескоординированными механизмами, которые использует для принятия решений реальная рыночная система, практически невозможно.

3. Выводы и комментарии

Каждая из четырех основных гипотез о производстве и распределении, использованных в моделях, проистекает из совершенно разных представлений об экономической деятельности. И, что логично, рекомендует совершенно разные стратегии.

Модели, которыми управляет спрос, приводятся в действие положительной обратной связью. В них большее производство вызывает увеличение доходов, из-за чего растет потребление, что ведет к дальнейшему увеличению производства. Если параметры модели позволяют этому циклу обратной связи захватить в системе главенствующее положение (именно так происходит в четырех управляемых спросом моделях из нашего обзора), то генерируется постоянный экспоненциальный экономический рост. Любые стратегии и меры могут повлиять лишь на скорость этого роста, но не на его наличие. Скорость будет выше, если поднять спрос (для чего можно увеличить или потребление, или инвестиции — результат будет одинаковым). Потребление растет при увеличении численности населения или росте доходов, причем фактор доходов оказывается более значимым. Инвестиции можно

увеличивать по-разному, но самый простой способ — управление государственными расходами.

Модели, управляемые рынком, построены на такой же доминирующей положительной обратной связи, и потому экономика в них тоже растет. Но характер роста может быть переменчивым, поскольку две отрицательных обратных связи будут пытаться выровнять предложение и спрос через цену. Модели этого типа поддержат те же выводы, что и системы, управляемые спросом: рост спроса увеличивает цену, из-за чего растет прибыль, и тогда производство увеличивается еще больше. Но в моделях, управляемых рыночными принципами, есть и другие ключевые точки, на которые могут влиять программы и стратегии: можно регулировать цены, ограничивать расходы, контролировать предложение за счет экспортной и импортной политики, ввести систему государственных заказов...

Модели, в которых ограничивающим фактором выступает предложение, тоже могут демонстрировать плавный экспоненциальный рост, но за счет другой положительной обратной связи: большее производство обеспечивает больше продукции, что увеличивает инвестиции, позволяя увеличенному капиталу произвести еще больше продукции. Этот цикл может быть ослаблен, если потребление будет отвлекать продукцию от реинвестирования. Такие модели (по крайней мере, в теории) способны приводить к застою экономики или даже обращать рост вспять. Заключения и рекомендации, которые выдают модели этого типа, противоположны тем, что дают системы, управляемые спросом: не следует поощрять рост численности населения, не нужно увеличивать спрос на потребительские товары — эти действия только замедлят экономический рост, поскольку уменьшат инвестиции. Вместо этого необходимо подкреплять цикл роста, накапливая и увеличивая капитал, уменьшая коэффициент капиталоемкости, стимулируя инвестиции и препятствуя росту потребления, прежде всего, за счет ограничения роста численности населения.

Модели, построенные на преобразовании ресурсов, могут демонстрировать практически любые варианты экономического развития, включая цикличные изменения, постоянный рост, постоянное снижение и даже рост, который ускоряется при изобилии ресурсов, но после их истощения и подорожания сменяется упадком. В списке рекомендаций такие модели упоминают: ограничение роста численности, ресурсосбережение, оценку запасов и ресурсной базы, планирование в долговременной перспективе и, самое главное, изменение целей, приоритетов и стимулов, влияющих на индивидуальные решения потребителей. Большинство из таких рекомендаций не могут появиться в моделях, относящихся к трем другим группам, и в принципе не могут быть представлены и описаны с их помощью.

Дискуссии между сторонниками разных экономических теорий идут десятилетиями, в них вовлечены ученые и политики. Противостояние очень острое. Но при этом почти ничего не делается для того, чтобы честно и обоснованно *опровергнуть* ту или иную теорию или четко определить, когда и для чего ее можно использовать, а когда она неприменима. Компьютерные модели слишком сложны, несопоставимы, однобоки, и это не способствует открытому обсуждению. Каждая модель отражает частичное понимание современных экономических систем, показывает картину, полученную под каким-то одним углом зрения. Они не предполагают, что на мир хотя бы из любопытства можно взглянуть с другой точки зрения, чтобы прояснить ситуацию. Не существует и объективных тестов, которые позволили бы упорядочить конфликтующие теории.

Как и демографические подсистемы, экономические скрывают под внешней сложностью удивительно простые основы. Простые, даже если сравнивать их с большинством мысленных моделей о процессе производства. За исключением сельского хозяйства, производственные функции в них содержат две или максимум три переменных, практически всегда имеющих денежное выражение. Разумеется, даже если изучать только финансовые потоки, *что-то* о производстве понять можно, однако многое можно и упустить. В качестве примера таких упущений можно назвать сырье и энергию: в семи из девяти производственных функций их нет.

Меня очень удивляет, что я не вижу во всех этих исследованиях материальных затрат. Одно дело, если такие пробелы — следствие нехватки данных. Тогда это понятно, хотя и прискорбно… С моей точки зрения, производственная функция должна объяснять процесс производства — например, при выпуске чипсов необходимо учитывать все, от картофеля и других продуктов до рабочей силы и капитала. Это как же надо постараться, чтобы делать чипсы без картофеля?[5]

Другой аспект, часто не учитываемый в системах, — информация, навыки, организационные институты и управленческие методы, которые необходимы для любого современного производственного процесса.

Исходные причины крайней нищеты нематериальны и касаются нехватки образования, организованности и дисциплины. Развитие вовсе не начинается с товаров потребления. В его основе — люди и их образование, организованность и дисциплина. Без этих трех факторов все остальные ресурсы ничего не дадут, так и останутся неиспользованными… У нас была масса возможностей наблюдать первичность этих невидимых факторов после войны. В каждой стране, где они были сильны, — неважно, насколько сильно она была разрушена, — происходило «экономическое чудо». На самом деле это чудо только для тех, чье внимание сфокусировано толь-

ко на верхушке айсберга. Его видимая часть за время войны разлетелась на куски, но основа — образование, организованность и дисциплина — никуда не исчезла[6].

Модели косвенно учитывают эти три фактора — например, от формы образования зависит замедление роста численности населения или увеличение производительности труда. В общем и целом модели отражают неявное представление о том экономическом развитии, которое происходило в последние несколько десятилетий. Согласно ему, целлюлозно-бумажные комбинаты, атомные электростанции, заводы по выплавке алюминия и соответствующие высокие доходы, если их без изменений перенести, например, в Эфиопию, Боливию или Бирму, не только дадут такой же эффект, как в развитых странах, но и сформируют капитал, который будет расти сам и послужит основной для экономического взлета в стране. При этом ни одна из моделей не может представить и тем более разработать меры, которые повлияли бы на социальные особенности, технические, организационные и предпринимательские качества людей. Ни одна из них даже не признаёт существование неофициального, семейного производства и не позволяет отобразить индустриализацию как смещение все большего количества производственных функций от частных домохозяйств к организованной экономике.

Проблема не в том, что производственные функции в моделях не включают в себя тот или иной фактор производства — ни одна модель не может вместить их все, включая плохо формализуемые социальные и организационные факторы. Сложность в том, что в экономическом планировании не учитывается *смещение* производственной системы *от одного ограничивающего фактора к другому*. В ходе индустриализации меняются и сопутствующие факторы экономики, и окружающая среда. В самом начале этого процесса, когда потенциальные потребители слишком бедны, чтобы оказать влияние на рынок, спрос действительно может служить основным лимитирующим фактором производства. Но затем, по мере развития экономики, ключевым фактором может стать нехватка капитала, а затем, возможно, недостаток квалифицированной рабочей силы, а еще через некоторое время — нехватка дешевой энергии. Под конец главным ограничением снова может стать спрос, когда потребительский рынок близко подойдет к уровню насыщения и не будет нуждаться в большем количестве товаров.

Экономисты до сей поры уделяли внимание только одному подобному смещению — между рабочей силой и капиталом. Поначалу к ним пытались применить оптимизацию и представления об идеальном рынке, но эти теории необходимо дорабатывать и расширять, чтобы учесть в них больше факторов, включая задолженности, «узкие места», за-

паздывание в найме рабочей силы и в строительном секторе, неидеальность рынков, неполноту информации и более сложные управленческие цели, чем просто минимизация расходов или максимизация прибылей. Эти и другие изменения необходимы. Уже произошло или будет происходить смещение от ручного труда к использованию ископаемого топлива, а затем к возобновимым источникам энергии; от предложения к спросу и обратно к предложению; от расширения капитала тяжелой промышленности к интенсивному технологическому развитию... Самые продвинутые (можно даже сказать, рискованные) в этом отношении модели — например, SOS в нашем обзоре — уже пытаются описать такие изменения. В этой области их можно считать пионерами. Они находятся на переднем крае экономической теории и очень далеко оторвались от твердого основания в виде накопленных фактических данных.

Упреки такого же плана можно адресовать и отражению распределения. Несмотря на всю внешнюю сложность, модели в вопросах распределения чрезвычайно просты, даже примитивны. В самой явной и буквальной модели из нашего обзора — SAHEL — в обществе есть только одна форма капитала, четыре формы потребительских товаров, относительно равномерное распределение и жесткая племенная система принятия решений. Самое сложное и детальное распределение используется в оптимизационных моделях, полностью основанных на теории свободного рынка и предположении о «невидимой руке» экономики, которые по меньшей мере спорны. В худшем случае они могут оказаться вообще неприменимыми ко все более централизованным современным системам производства. Лишь очень немногие модели включают в себя хоть какие-то предположения или намеки на социальные стимулы, борьбу, напряженность и трудности, возникающие при сосредоточении информации, умений и производственного капитала, или на потребности, цели и побуждения, заставляющие людей решиться на покупку или отложить средства на будущее.

Существует несколько других моделей, как формальных, так и мысленных, которые достаточно четко описывают социальное распределение. Но инвестиции и потребление — гордиев узел современной экономики, и разрубить его не удается. Некоторые люди, семьи или компании могут точно объяснить, чем они руководствуются, покупая или инвестируя. Но как свести все эти соображения воедино в масштабах текущего производства? Как распределяется нехватка чего-либо? Как делается повторный выбор, если первая попытка оказалась неудачной? Насколько велико запаздывание между намерением и реальным потреблением или инвестированием? В какой степени потребители и инвесторы используют возможности, которые им подвернулись волею случая? Разделение проблем на производственные, потребительские и инвестиционные вообще может оказаться непра-

вильным, поскольку большинство видов продукции в действительности изначально имеет форму либо потребительских товаров, либо инвестиционных, и изменить ее нельзя. Возможно, больше внимания стоило бы уделить проблеме затоваривания складов и уже имеющимся у потребителей товарам, находящимся в использовании, поскольку эти факторы влияют и на производство, и на продажи, и на инвестиции[7].

Настоящее понимание механизмов распределения должно включать в себя переход от индивидуальных решений к совокупному спросу, к адекватному (или неадекватному) предложению, а затем обратно к индивидуальным действиям и новым решениям. Эта проблема относится к области системной теории и требует целостного, междисциплинарного, численного подхода. Подобные вопросы на уровне мысленных моделей не решаются. Редукционизм или наблюдение за годичными макроэкономическими потоками в денежном выражении здесь не помогут. Только компьютерное моделирование, причем примененное нешаблонно, изобретательно, способно пролить свет на эту область. До сей поры она исследована очень мало.

13.3. Изменения в технологиях

Технологию можно определить как применение научных знаний ради практических целей. Она представляет собой физическую связь между тем, что необходимо для производства, и тем, что будет выпущено в результате, способность общества решать проблемы за счет перенастройки и изменения оборудования, постоянного замещения истощающихся ресурсов теми, что есть в наличии. Несмотря на такое общее определение, технология — один из самых очевидных факторов, которые позволяют отличить промышленно развитое общество от еще только развивающегося. Технологическое развитие — вероятно, самый часто предлагаемый и применяемый способ при оказании помощи странам третьего мира. Теория индустриализации, по идее, должна включать в себя все виды технологических изменений, их источники и особенности распространения.

1. Мысленные модели

Технология — продукт человеческой находчивости и усердия. Иногда изобретение делается случайно (как, например, открытие вулканизации резины), но чаще всего это целенаправленный поиск решения для какой-то конкретной проблемы (именно так, «под заказ», в свое время разработали противозачаточные таблетки, нержавеющую сталь, спускаемые аппараты и луноход). Для успешного технологического развития необходимы как фундаментальные знания, так и финан-

совые инвестиции, чтобы разработать их практическое применение. К примеру, нехватка фундаментальных знаний пока не позволяет найти универсальное лекарство от рака. В ситуации с термоядерным синтезом, напротив, наука продвинулась очень далеко, но еще не решены практические вопросы: проектирование и постройка термоядерного реактора.

Чтобы технологическое изменение могло произойти, нужно:

1) обозначить проблему;
2) продвинуться в понимании системы, чтобы предложить технологическое решение;
3) применить достаточное количество ресурсов, привлечь специалистов и потратить время, чтобы экспериментально проверить решение, придать ему приемлемую форму и детально проработать его применение на практике.

В этот момент начинают сказываться и другие факторы, определяющие, как будет происходить изменение: экономические затраты, социальные последствия, государственная поддержка, маркетинговые программы, оборачиваемость физического капитала и «побочные эффекты». После того как новая технология признана обществом, можно ожидать не только изменений в связях между сырьем и выпускаемой продукцией в конкретной технологической сфере, но и изменения физических и социальных связей в обществе. Автомобиль не только решил проблему с передвижением для отдельных людей или семей, но и повлиял на трудовые отношения, государственные расходы, качество воздуха, градостроительные планы, структуру органов власти, зависимость от международной торговли и сотни других взаимосвязей в социально-экономической системе.

Помимо очевидных изменений, происходит и перерождение мысленных моделей и представлений о технологии. Они становятся более фрагментарными, разнообразными, сложными и образуют запутанную картину, поскольку слишком много аспектов общественной жизни оказалось под влиянием слишком большого количества технологических изменений. Технология стала приобретать черты религии — ее считают всемогущей, способной решить все проблемы, или наоборот, источником вселенского зла.

Некоторые технологические достижения неразрывно связаны с индустриализацией и ассоциируются с ней: печатный станок, электрический ткацкий станок, антибиотики, радиосвязь, компьютер, транзистор, атомная энергия, ДДТ, сверхурожайный сорт риса, шельфовые нефтяные платформы и межконтинентальные баллистические ракеты. Любая модель индустриализации должна учитывать все важные изменения, но как оценить будущие технологические достижения?

Развитие технологии — открытый, незамкнутый процесс, эволюционное изменение, а оно очень сложно поддается упрощению, обобщению и прогнозированию. Мысленные модели, описывающие взаимосвязи технологии и общества в ходе индустриализации, не просто неточны, а порой совершенно ошибочны.

2. Компьютерные модели

Девять моделей в нашем обзоре представляют технологию даже не девятью, а бóльшим количеством способов, поскольку в некоторых системах технологические изменения, явные или неявные, описываются несколькими механизмами. Модели отличаются тем, заложена ли в них технология как принципиальная идея или как последовательность определенных изменений, с теми или иными последствиями, затратами и временны́ми запаздываниями, с возможностью использования в будущем пока не подтвержденных методов и решений. Табличная диаграмма на рис. 13.5 показывает, как технологии представлены в моделях, в зависимости от степени их обобщения и границ. В нашем обсуждении мы пойдем по строкам диаграммы, сначала рассматривая модели с неизменными технологиями, затем те, где технологические изменения заданы извне, а закончим теми, которые описываются внутренними переменными.

В краткосрочной эконометрической модели MexicoV технологии отведено меньше внимания, чем в любой другой из рассмотренных в книге систем, и так и должно быть, если учитывать цель этой разработки. В явном виде технология в модели вообще не фигурирует, производственный процесс привязан скорее к экономическому спро-

	Технология — обобщенный параметр	**Технология по отраслям, отдельные параметры**
Технологии неизменны	MexicoV	CHAC BACHUE — промышленный сектор KASM промышленный сектор
Технологии заданы извне	TEMPO LTSM	SAHEL RfF KASM — основное развитие сельского хозяйства
Технология — внутренний параметр, заданный неявно	BACHUE LTSM — миграция TEMPO	
Технология — внутренний параметр, заданный явно	SOS	KASM — распространение сельскохозяйственных методов

Рис. 13.5. Функции технологических изменений в моделях

су, чем к сырью или другим физическим понятиям. Конечно, технологический уровень развития Мексики неявно все равно заложен во всех параметрах в сорока поведенческих уравнениях, которые были получены для модели на основании данных за предыдущие периоды. В каком-то смысле сама модель служит индикатором уровня технологического развития: раз она используется для прогнозирования, то неудивительно, что предполагается отсутствие каких-либо изменений в технологиях.

Другая модель, CHAC, статична и потому не содержит какого-либо представления об изменениях в технологии в долговременном масштабе. Но при этом система **CHAC, без сомнения, самая технически про**работанная модель в нашем обзоре. Ее уровень можно оценить даже по описанию.

1. Массив для вариантов фермерских технологий, доступных в Мексике на момент создания модели: 2348 разновидностей.
2. В системе детально описаны условия, при которых выбираются те или иные варианты технологий.

Но при этом **CHAC не предназначена для описания путей технологического** развития страны со временем. Ее не заботит, откуда взялись эти 2348 разновидностей технологий и могут ли в ближайшие 5 лет возникнуть какие-то новые. Тем не менее модель может выбирать для заданного года новое сочетание вариантов из доступных разновидностей, в зависимости от экономических показателей и государственных программ. Несмотря на то что система **CHAC использует представле**ние о неизменности технологий во времени (т. е. включенные в нее разновидности не меняются), сельскохозяйственный сектор в экономике Мексики будет откликаться на изменения в стратегиях выбором разных сочетаний технологий.

Теория по выбору технологий, заложенная в модель **CHAC, основа**на на свободном рынке, но, вероятно, государственные программы все-таки имеют решающее значение. Предполагается, что каждому фермеру известно, какие варианты технологий доступны в его случае (не все 2348, разумеется, а только часть — они подразделяются по географическим областям, типам земельных угодий, зависят от орошения), и какие из них принесут наибольшую выгоду или повлекут наименьшие расходы. Выбор вариантов происходит с одновременным учетом кривых спроса и предложения, чтобы найти точку рыночного равновесия. Фактически теория описывает, каковы *совокупные* результаты всех выборов технологий (и откликов потребителей), — она не рассматривает принятие решения каждым отдельным фермером. Но в ней предполагается максимизация прибыли за счет того, что на уровне отдельных ферм, как считается, доступна вся полнота информации.

Две другие модели, предполагающие неизменность технологий, — промышленные подсистемы BACHUE и KASM. Обе модели построены на межотраслевом балансе и учитывают потоки между отраслями. Технические коэффициенты в матрице «затраты-выпуск» описывают все виды сырья и продукции по каждому сектору, что откуда взято и куда направлено, по данным за текущий год. В обеих системах технические коэффициенты неизменны, поскольку внутри временно́го диапазона модели все связи между затратами и выпуском считаются постоянными. В модели **KASM, с ее границами от 5 до 15 лет и особым вниманием** к сельскому хозяйству (в нем технические изменения описаны подробно), предположение о неизменности в промышленном секторе, пожалуй, наиболее оправданно. В модели **BACHUE временной диапазон** более продолжителен, а задачи сводятся к общему планированию, поэтому идея о постоянстве связей вызывает сомнения даже у самих разработчиков. Они оправдываются и говорят, что пошли на это ради упрощения, поскольку иначе детальное изучение изменений потребовало бы отдельного исследования[8].

Среди моделей, в которых технология задается извне, TEMPO и LTSM одновременно и самые обобщенные, и, что логично, самые простые. В обеих существует правительственное регулирование, которое может затрагивать технологию, например, планирование семьи, здравоохранение, задаваемое извне автоматическое улучшение технологий, встроенное в производственные уравнения.

В модели TEMPO государственные программы включают в себя охрану здоровья, планирование семьи и образование, и весомость этих факторов можно варьировать по желанию пользователя. Затраты на охрану здоровья влияют на смертность, планирование семьи — на рождаемость, образование — на качество и количество рабочей силы (производительность труда и занятость). Стоимость подобных улучшений учитывается в государственном бюджете. Предполагается, что расходы в расчете на одного ученика до определенного предела неизменны, равно как и расходы программы планирования на каждую участвующую в ней семью. При превышении порога затраты начинают линейно расти. Пользователь модели может регулировать правительственные субсидии на эти направления или устанавливать цели, в зависимости от которых рассчитываются расходы.

В модели **TEMPO тоже есть предположения о технологии и производственных функциях**, и они имеют существенное значение. Производство разбито на два сектора — традиционный аграрный и современный промышленный. Первый из них зависит только от численности сельского населения:

$$GPS = x \cdot PS_{t-1}^{y}$$

где GPS — валовой продукт сельскохозяйственного сектора, PS — численность населения в нем, x и y — константы, причем y — меньшая из них.

Фактически в аграрном секторе рабочие руки не имеют решающего значения, а технологии остаются неизменными, поэтому на рабочую силу приходится сокращающийся доход. В промышленном секторе, напротив, выпуск следует производственной функции Кобба-Дугласа:

$$GPM = Z \cdot (1+Q)^t \cdot K_{t-1}^u \cdot NE_{t-1}^v \cdot NU_{t-1}^w$$

где GPM — валовой промышленный продукт, произведение $Z \cdot (1+Q)^t$ описывает скорость изменения технологий, K_{t-1}^u — капитал, NE_{t-1}^v — нанятая квалифицированная (образованная) рабочая сила, NU_{t-1}^w — нанятая неквалифицированная (необразованная) рабочая сила.

Взнос обученных работников существеннее, чем необученных ($v > w$). Технология в этой функции экспоненциально совершенствуется со временем со скоростью Q. В версии **TEMPO «Develop»** коэффициент составляет 1,5% в год. Предполагается, что любое сочетание капитала и рабочей силы всегда будет давать выпуск на 1,5% больше, чем годом ранее, — это происходит автоматически и не влечет за собой никаких расходов.

В макроэкономических производственных функциях подобное представление об экспоненциальном развитии технологий встречается довольно часто. Оно уходит корнями в широко известное практическое наблюдение, что обычные функции Кобба-Дугласа ($Y = zK^uL^v$) существенно недооценивают скорости роста производства. Предсказанный уравнением объем выпуска обычно оказывается намного меньше, чем фактический, и чем больше период прогнозирования, тем сильнее расхождение — оно само увеличивается по экспоненциальному закону. Объяснения тому могут быть разными.

1. Математическое выражение $Y = zK^uL^v$ может некорректно описывать связь между капиталом, рабочей силой и выпуском продукции в современной производственной экономике.
2. Относительные цены на сырье и готовую продукцию со временем могут меняться, и тогда денежные выражения для соответствующих потоков не будут описывать реальное соотношение затрат и выпуска.
3. В уравнении могут быть пропущены один или более факторов производства, которые систематически замещаются капиталом и/или рабочей силой.

Включение экспоненциального развития технологий в уравнения Кобба-Дугласа представляет собой третий вариант из приведенного

списка — фактически предполагается, что в системе пропущен фактор технологического знания, ноу-хау, который применяется во всей экономике, делая капитал и рабочую силу все более эффективными. В результате производственная функция обретает довольно хорошую точность для краткосрочных прогнозов, причем для различных экономик и даже для разных исторических периодов. Однако от этого ее содержание не становится ясным, а научная ценность вообще исчезает, поскольку это всего лишь гипотеза, причем практически не фальсифицируемая, а значит, ее нельзя считать полноценной теорией. Технология — не параметр, который можно взять и измерить в отрыве от других факторов. Могут быть и другие пропущенные факторы в уравнении, например энергия. К тому же существуют и другие производственные функции, которые могут описывать данные, накопленные за предыдущие периоды, ничуть не хуже...[9]

Согласуется ли предположение об экспоненциальном развитии технологий с целью, для которой создавалась система TEMPO? Если задача модели — всего лишь продемонстрировать последствия для экономики от быстрого или медленного роста численности населения, то простота необходима, и тогда предположение об экспоненциальном развитии технологий имеет такое же право на существование, как и любое другое. Не так уж важно, чему равно значение Q — 2,5%, 0 или −1,5%. Самое важное заключение модели состоит в том, что медленный рост лучше, чем быстрый. Но если задачей модели было обеспечить экономическое планирование, тогда экспоненциальное улучшение технологий — слишком упрощенное представление.

В модели **LTSM содержится похожее сочетание задаваемых извне** технологических функций. Они выражены как через производственные уравнения, так и с помощью вариантов стратегий. Из пяти основных внешних планов действий в модели три имеют технологические последствия: мелиорация земель (орошение, осушение и т. п.), распределение инвестиций по секторам экономики, демографические программы (планирование семьи). Мелиорация проводится за счет направления инвестиций в сельское хозяйство. Другие инвестиции ведут к определенным затратам конечной продукции, однако запаздывания в системе отсутствуют. Демографические программы в модели не требуют затрат и действовать начинают немедленно.

В модели LTSM используется модифицированный вид производственной функции Харрода-Домара для каждого из восьми несельскохозяйственных секторов:

$$\text{Выпуск}\,(t) = \text{Выпуск}\,(t-1) + \text{Инвестиции}\,(t-1) \times$$
$$\times\ \text{Приращение коэффициента капиталоемкости}\,(t)$$

Приращение коэффициента капиталоемкости — собирательный параметр, характеризующий взаимосвязь капитала и продукции. Он задается извне и может меняться со временем (в соответствии с допущением о простой экспоненциальной зависимости, описывающей развитие технического прогресса).

В сельскохозяйственном секторе LTSM технический прогресс задан более явно, при этом выпуск продукции зависит от площади земель и урожайности. Площадь увеличивается за счет управляемых извне программ мелиорации и уменьшается при изъятии земель под застройку. Урожайность зависит от инвестиций в интенсивный капитал, не связанный с расширением площадей, и от материальных потоков (удобрений и пестицидов). Интенсивный капитал поступает за счет распределения инвестиций, регулируемого тоже извне. Скорость роста материальных потоков зависит от изменений в чистом сельскохозяйственном производстве, которые вызывают дальнейший рост материальных потоков в следующий расчетный период. В результате таких предположений выпуск должен постоянно экспоненциально расти. Его подпитывают точно так же растущие количества удобрений и прочих видов продукции, используемых в сельскохозяйственном производстве. Так в модели LTSM обеспечивается технологическое развитие аграрного сектора.

Три другие модели, SAHEL, RfF и KASM, предполагают внешние технологические изменения, причем здесь они прописаны гораздо детальнее, чем функции технического прогресса в моделях TEMPO и LTSM, не имеющие конкретной привязки.

Кочевое население Сахельского региона в модели может получить технологическую помощь в виде услуг здравоохранения, ветеринарии, бурения скважин и колодцев в любой расчетный момент, по усмотрению оператора модели. Цель таких изменений — уменьшить смертность населения и падеж скота, увеличить кормовую базу для стад и время, проводимое кочевыми племенами на территории Сахеля. Эти три вида вмешательства вполне достаточны, чтобы модель могла описать исторические изменения, происходившие в Сахельском регионе по мере развития технологий. Достаточны ли они для того, чтобы проверить все изменения, которые можно ожидать в будущем, — зависит от мысленных моделей того, кто работает с программой. Пикарди, автор модели, хотел проверить только перечисленные изменения, поэтому не изучал последствия для экономики региона от установки солнечных генераторов, кормления животных бобовыми культурами, использования гормона роста крупного рогатого скота и других новых для Сахельского региона методов и технологий.

Модель RfF, представляющая собой межотраслевой баланс со 185 факторами экономики США, отличается от модели SAHEL по методу и описанию технологий настолько сильно, насколько это вообще воз-

можно. Для модели, в которой население описано детально и со сложными связями, где временной диапазон составляет 30 лет, а основной предмет интереса — ресурсы, вполне логично уделять технологии самое пристальное внимание. Матрица «затраты-выпуск» описывает текущие технологии, используемые в тот год, к которому относится база данных (1968 г.), с помощью примерно 35 000 записей о заказах по каждой из 185 промышленных групп относительно всех остальных. Технологические коэффициенты, полученные для 1968 г., экстраполируются с помощью самых разных внешних предположений, часть из которых сформулирована в общем виде, а другая часть относится к отдельным секторам экономики. Вот примеры некоторых технологических предположений модели.

- Производительность труда будет возрастать по всем секторам на 2,5% в год (это аналог автоматического экспоненциального технического прогресса в моделях TEMPO и LTSM).
- Самые продвинутые технологии 1968 г. из любой области применения к 2000 г. будут считаться средними и общераспространенными.
- Никакие достижения технологии не приведут к изменению потребительских привычек; на итоговый спрос влияют только численность населения и рост доходов.
- Существующие тенденции в развитии технологий сохранятся, существенных прорывов или замедлений не будет.
- Исторически сложившаяся зависимость между ВНП и энергией не изменится.

Кроме перечисленных общих положений в модель включены тысячи зависимостей, касающихся отраслей промышленности или производственных процессов. Например, в рамках временно́го диапазона модели происходит постепенная замена стальных труб на продукцию из ПВХ, вместо меди повсеместно используется алюминий, все бо́льшая доля электричества вырабатывается атомными электростанциями, вместо сахара люди все чаще покупают искусственные заменители и подсластители. Более того, связи между производством в каждом секторе, использованием ресурсов и выбросами вредных веществ прогнозируются и задаются извне. Это делается при помощи уравнений по всем секторам:

$$\text{Спрос}_{\text{ресурс}\,r} = \sum b_{jt}^{r}[X_{jt} + I_{jt}]$$

где X_{jt} — суммарное производство сектора j в год t; I_{jt} — суммарный импорт сектора j в год t; а b_{jt} — количество ресурса r, используемого на единицу продукции в секторе j в год t.

$$\text{Загрязнение}_{\text{тип } k,\ \text{год } t,\ \text{сектор } j} = (1 - b_t^k) \sum_i a_{jt}^k X_{jt}$$

где b_t^k — общая эффективность уменьшения выбросов загрязнителя k в год t; a_{jt}^k — количество загрязнителя k на единицу продукции j в год t; X_{jt} — суммарное производство сектора j в год t.

Коэффициенты в этих уравнениях можно менять, чтобы проверить стратегии уменьшения загрязнений или программы по переработке отходов.

В модели **RfF рисуется поразительно подробная картина технологического развития** экономики со временем. Количество технологических факторов, задаваемых извне, можно оценить следующим расчетом:

35 000	технических коэффициентов
× 30	расчетных лет в модели
1 050 000	технических коэффициентов
+	
185	коэффициентов, описывающих использование ресурсов (по одному для каждого сектора)
× 24	вида ресурсов
4 480	
× 30	расчетных лет в модели
134 400	коэффициентов по ресурсам
+	
185	коэффициентов по выбросам
× 13	видов загрязнителей
2 405	
× 30	расчетных лет в модели
72 150	коэффициентов по выбросам
1 256 550	коэффициентов, задаваемых извне

Модель **KASM содержит отдельную подсистему, которая называется** CHANGE и описывает технический прогресс в сельском хозяйстве. В **KASM есть подсистема по оптимизации, похожая на CHAC, но не настолько** подробная. Она описывает решения, которые принимают фермеры, чтобы засевать те или иные площади разными культурами. Модуль **CHANGE описывает информацию, необходимую для оптимизации**: посевные технологии, доступные в каждый год; урожайность, которую они способны обеспечить; материальные потоки, которые для этого потребуются. По сути, CHANGE — это динамическая модель технического развития в сельском хозяйстве, построенная с учетом всех видов посевных культур и факторов.

Причины, позволяющие аграрному сектору в модуле **CHANGE развиваться**, — управляемые извне государственные программы и стратегии. Затраты на разработки технологий тоже задаются внешними параметрами. В системе описаны и протестированы инструменты стратегий.

1. Программы, касающиеся развития земельных и водных ресурсов:
   а) улучшение земель и водных ресурсов:
      - многоцелевые, полномасштабные проекты развития земель;
      - масштабные проекты для обводнения рисовых полей;
      - мелкомасштабные проекты для обводнения рисовых полей;
      - проекты по объединению рисовых полей;
      - проекты по осушению рисовых полей;
      - проекты по увеличению продуктивности рисовых полей;
      - мелиорационные проекты для нагорья;
      - проекты по объединению нагорных территорий;

   б) мелиорация земель:
      - проекты по развитию приливно-отливных зон;
      - проекты по развитию нагорья;

   в) программы по улучшению пастбищ;
   г) программы по охране земель сельскохозяйственного назначения.
2. Биотехнологические программы (по видам культур):
   а) исследовательские программы;
   б) программы внедрения и поддержки.
3. Программы по регулированию цен:
   а) ценообразование на продукцию (по видам культур);
   б) ценообразование на производственные факторы (по видам сырья и материальных ресурсов).
4. Финансовая политика в сельском хозяйстве:
   а) программы кредитования;
   б) регулирование процентных ставок.

Когда из этого списка выбраны определенные программы и введены в модель, подсистема CHANGE описывает распространение знаний о каждой новой технологии. Оптимизационный модуль **FRESAL** рассчитывает, насколько они приняты и используются. Эта часть модели попадает в категорию технологий, описываемых в явном виде внутри самой системы, в то время как в других системах применяются неявные описания технологических изменений.

В моделях TEMPO, LTSM и BACHUE изменения в технологической сфере задаются неявно, за счет процесса, который непосредственно с технологией не связан (точнее, эта связь не бросается в глаза), — миграции между сельскими и городскими районами. Во всех трех системах происходит перемещение работников из села с его традиционным трудовым укладом в города с продвинутым промышленным производством. По сути, в модели сосуществуют два мира, находя-

щихся на разных ступенях технического развития, и изучаются потоки мигрантов между ними.

В системе **TEMPO люди, прибывающие в город, покидают традиционный** сектор производства, в котором рабочая сила — единственный фактор в производственной функции, причем его влияние невелико и стремится стать еще меньше. Мигранты, которым посчастливилось найти работу в городе, поступают в производственный сектор, где важность рабочих рук экспоненциально растет. Более того, на них немедленно распространяются городские показатели фертильности и смертности. И даже если мигрант не нашел работы в городе, сам факт его отсутствия на селе приводит к увеличению предельной производительности в традиционном секторе экономики и к снижению рождаемости.

В системе LTSM рабочая сила в явном виде в производственную функцию не включена. Влияние миграции на сферу наемного труда (промышленность) состоит в том, что уменьшается стремление к наращиванию капитала, позволяющего меньше зависеть от рабочей силы. Большое количество безработных в городах приводит к тому, что зарплаты уменьшаются и растет привлекательность процессов, в которых задействовано много рабочих рук. Миграция из сельских районов в городские замедляет скорость, с которой современная промышленность осваивает новые технологии. Вероятно, нехватка рабочей силы приводила бы к обратному эффекту, увеличению зарплат и ускоренному накоплению капитала, однако общество в модели LTSM обладает избытком работников, поэтому другие варианты не рассматривались.

Модель BACHUE описывает сектор рабочей силы более детально, чем **TEMPO и LTSM, и распределение рабочей силы в ней неразрывно** связано с функционированием экономической системы. Миграция происходит не только между сельскими и городскими районами, но и между отраслями производства, и этот процесс стремится выровнять расхождения в оплате труда. От места проживания работников и типа выполняемой работы зависит распределение доходов, что в свою очередь влияет на итоговый спрос и производство. И хотя в модели BACHUE технические коэффициенты в матрице «затраты-выпуск» остаются неизменными, сама экономика смещается по направлению к более продвинутому сочетанию технологий за счет роста в современных секторах производства, в ущерб традиционным.

Лишь в двух моделях технологические изменения описаны явным образом как внутренние процессы системы. Одна из них — **SOS, мо**дель, обобщенная во всех смыслах. Другая — **KASM, более конкрет**ная и подробная.

Технологии в системе SOS включены во все механизмы принятия решений, которые позволяют коллективному «мозгу» общества принимать меры, если цели не достигнуты. Например, если производство

меди недостаточно, чтобы удовлетворить спрос, в модели SOS применяются новые технологии для разработки залежей медной руды. Если этого окажется недостаточно, то включатся технологии, позволяющие заменять медь на алюминий, причем расчет степени замещения ведется по каждому сектору. Если загрязнения начинают превышать приемлемый уровень, то ресурсы направляются на применение технологий для снижения выбросов. По сути, на каждый вид проблем модель отвечает применением соответствующих технологий. Для каждого вида проблем существует пороговое значение, после которого система начинает признавать ее наличие; запаздывание, после которого включается технологический отклик; в некоторых случаях затраты, ценой которых он обеспечивается. Учитываются также последствия технологического изменения, границы его применения и даже более действенные технологии, которые подключаются в том случае, если первоначальным мерам не удалось справиться с проблемой. Можно сказать, что модель создает «будущие» технологии, отвечая на возможные кризисные ситуации заранее, еще до их наступления. Общее описание таких технологий должно быть заложено в модель изначально, но время и последствия от их применения зависят от того, что будет происходить в отображаемой экономической системе.

Теория о том, что технологии всегда смогут подстраиваться под текущую ситуацию и успешно решать проблемы (как в модели SOS), хорошо подходит для воображаемого тестирования. Что, если любому сырью всегда можно будет найти замену? Что, если материалам не будет 100% замены, а будет возможно лишь частичное замещение? Что изменится, если переработка отходов будет широко распространена (или наоборот, ограничена)? Какими будут последствия, если запаздывание при внедрении новых методов производства станет больше (или меньше)? Подобные вопросы вполне можно исследовать с помощью модели SOS, как минимум, в общих чертах. И в результате мы получим вполне логичные заключения об ограничениях теории о «всемогущих технологиях, которые спасут мир», увидим в действии ее сильный, слабый и умеренный варианты. На самом деле эта теория очень широко распространена, в том числе в мысленных моделях, хотя и противоречива. Всегда полезно иметь ее явное представление, с которым можно было бы проводить эксперименты. Компьютерная модель подходит для этого как нельзя лучше. Возможно, она позволит найти решение в нескончаемом споре между теми, кто считает технологии панацеей от всех бед, и теми, кто в этом сомневается. Или хотя бы покажет, до какой степени должны быть взаимозаменяемы ресурсы и с какой скоростью должны появляться новые технологии, чтобы система производства могла избежать неблагоприятного развития событий.

Мы уже упоминали представление технологий в модели KASM в двух категориях. В промышленном секторе используются посто-

янные технические коэффициенты, а длинный список аграрных технологий закладывается в подсистему CHANGE извне. Но к этому необходимо добавить ключевое предположение модели **KASM, заложенное** в нее внутренне: что новые технологии, «спускаемые сверху» правительством, могут войти в постоянную практику и применяться корейскими фермерами повсеместно. Из всех моделей в нашем обзоре такой механизм применения технологий задан самым прямым и непосредственным образом.

Новые достижения технологии (например, создание нового сорта риса, урожайность которого выше на 30%) задаются в модели извне, вместе с другими средствами производства — обрабатываемыми землями, количеством удобрений, доступностью рабочей силы. Реализация конкретной технологии происходит за счет введения соответствующего коэффициента в модуль FRESAL, описывающий принятие решений в фермерстве. Это не означает, что 100% всех сельскохозяйственных земель станут засевать исключительно новым сортом, — имеется в виду, что все 100% фермеров будут осведомлены о том, что такой сорт существует, и смогут выбрать его, если захотят, среди прочих посевных культур.

Рисунок 13.6 показывает, как происходит распространение новой технологии, — оно описывается *S*-образной кривой. Любые новые разработки в конце концов становятся общепризнанными, вопрос только в том, как быстро и насколько широко они будут использоваться. Асимптота, к которой приближается кривая, соответствует максимальной области применения, которая определяется как суммарная площадь земель, пригодных для выращивания нового сорта (например, некоторые сорта можно выращивать только на обводненных чеках), с учетом региональных предпочтений фермеров (регионы, традиционно занимающиеся выращиванием риса, скорее примут эту технологию, чем, например, разведение шелковицы на тутовых деревьях). Скорость, с которой технология будет охватывать максимальную территорию, зависит от государственных расходов на ее поддержку (дополнительный бюджет) и от прибыльности, которую она в принципе способна обеспечить. Оба фактора задаются как внешние.

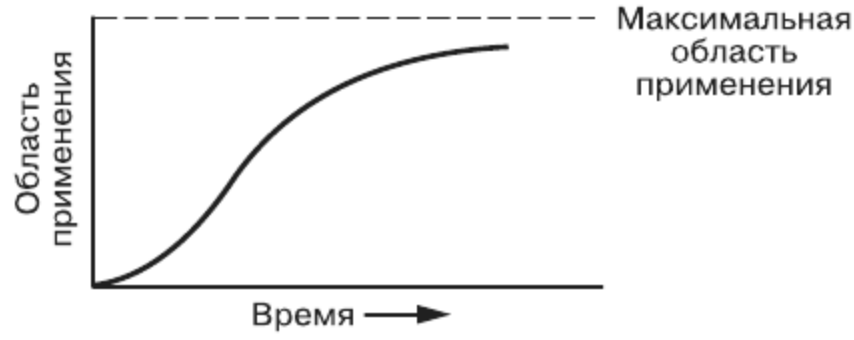


Рис. 13.6. Процесс распространения новой технологии

Предполагается, что разница между урожайностью старого и нового методов окажется несколько меньше, чем на экспериментальных участках, и со временем будет уменьшаться, по мере того как технология распространяется все шире. Так происходит потому, что лучшие, самые эффективные фермы первыми начинают применять новые методы, а те, что внедряют их позже, обладают не столь высоким уровнем знаний и навыков.

Модуль **CHANGE отслеживает, до какой степени структурное улучшение**, задаваемое извне, может быть доступно фермерам в конкретном году. Эта информация затем используется вместе с переменными, описывающими кредитную политику и ценообразование, и показателями, поступающими из других секторов модели, для определения сочетания культур, выбранного фермерами на год. Зная эти сочетания, модуль CHANGE использует уравнения производственных функций для расчета ожидаемого урожая по каждому виду посевов для каждого региона на текущий год. Эти данные передаются из модуля CHANGE в оптимизационную подсистему **FRESAL, которая рассчитывает площади**, отводимые фермерами под каждую культуру. Площади затем умножаются на ожидаемую урожайность, полученную модулем CHANGE, и в результате система выдает суммарное количество сельскохозяйственной продукции по каждому виду посевов.

Столь сложная последовательность математических расчетов приводит к предельно детализированному описанию технологических изменений в сельском хозяйстве. Но в нем прослеживается исходная теория, и ее понять несложно. Технологические изменения инициируются правительством, поддерживаются финансированием и реализуются в виде разнообразных, подробно расписанных вариантов развития. Принципиальных возможностей две.

1. Земельные и водные ресурсы становятся доступными после некоторого запаздывания, но затем всегда обеспечивают расширенное производство.
2. Биотехнологии, представленные новыми взаимосвязями «затраты-выпуск», медленно, но неизбежно внедряются в список вариантов, доступных фермерам для выбора. Выбор делается исходя из рациональных правил по оптимизации экономики.

На решение фермеров в дальнейшем могут влиять и другие факторы: правительственные программы поддержки, кредитные ограничения, политика ценообразования и т. д.

3. Выводы и комментарии

Практически все модели в нашей книге так или иначе отображают возникновение и распространение новых технологий, но не в виде причин, а в виде следствий. Лишь в одной модели новые технологии

возникают не извне, а изнутри, как ответ системы на определенные проблемы.

В некоторых моделях технологии приняты постоянными, в других возникают магическим путем и совершенствуют все процессы производства по экспоненциальному закону и без каких-либо затрат. В большинстве моделей определенные технические изменения внезапно появляются извне, из-за пределов системы. Две модели полагают, что новые технологии принимаются и распространяются только в зависимости от их прямой экономической выгоды. Один разработчик заключил, что все последствия технологий для его системы негативны; во всех остальных системах применение технологий приносит только благо. Только в двух моделях учитываются затраты на внедрение технических усовершенствований и временны́е запаздывания. Ни одна из систем не связывает технологические изменения в явном виде с возрастной структурой населения, коэффициентом текучести кадров или оборачиваемостью производственных активов. И во всех моделях крайне мало внимания уделяется социальным и экологическим «побочным эффектам» от применения технологий.

Эти ограничения типичны для мысленных моделей. В каком-то смысле каждому человеку свойственны подобные представления о технологии, они приложимы в разное время к разным целям. В западной культуре слово «технология» вообще приобрело полумистический смысл — это своего рода вера в могущество техники, независимо от применяемого оборудования и усилий человека. Многие стратегии и программы принимаются, исходя из молчаливого предположения о том, что технологии не изменятся, либо что они изменятся обязательно, делая производство все более эффективным, либо что любые проблемы, которые только могут возникнуть, удастся решить технологическим путем. Считается, что технологии просто приходят в общество как они есть, а не выбираются им, что они неосязаемы и неуловимы, не встроены в структуру оборудования или систему образования. Побочные эффекты от их применения практически всегда недооцениваются, хотя на самом деле социальные и психологические последствия, а также воздействие на окружающую среду большинству людей известны по личному опыту — каждый из нас лично наблюдает, какие происходят изменения в мире.

Для большинства повседневных решений может оказаться вполне достаточным такое упрощенное представление о технологии. Постоянна она или экспоненциально меняется, общая или частная, затратная или бесплатная — не так уж и важно. Но простые модели не позволяют планировать социальные программы в долгосрочной перспективе и досконально изучать процесс индустриализации. С их помощью нельзя выяснить, почему в одних случаях технологии приносят пользу, а в других нет; почему наиболее экономически вы-

годные методики не удается внедрить по всему миру одинаково успешно; почему хорошо известные общечеловеческие проблемы — голод, онкологические заболевания и масса других — до сих пор не решены. Простые модели не объясняют, почему в одних обществах технологические усовершенствования сопровождали процесс индустриализации (США, большинство стран Европы), в других происходили без нее (например, древний Китай), в третьих заимствовались извне и успешно применялись (Япония, Тайвань), а в четвертых пробуксовывают, несмотря на доступность и помощь от других государств (большинство стран Африки). Практически все гипотезы о технологиях в моделях можно разбить на две категории: либо они настолько смутны и плохо сформулированы, что в принципе не могут быть фальсифицированы, либо фальсифицируются так легко, что на них нельзя строить исследование и вести разработку стратегий.

У нас нет своей теории о технологиях, которую мы могли бы предложить взамен. Мы можем лишь отметить, что существующие теории чрезвычайно далеки от совершенства, и необходим принципиально новый взгляд на эту область. Например, все представления о технологиях в наших моделях носят либо финансовый характер, либо физический, вещественный; до сих пор никто не моделировал, как технологии зарождаются в мыслях людей. Предлагалось очень мало моделей, которые учитывали бы технологические, социальные и психологические аспекты вместе и их влияние друг на друга. Например, Э. Ф. Шумахер описывает промежуточные технологии на уровне деревни не только как усовершенствование традиционных процессов производства, но и как способ изменить поведение, обрести уверенность в себе, развить логику и находчивость[10]. Возможно, для истинного понимания индустриализации придется разработать представление о технологии как информации, в сочетании с теорией о том, как человеческий разум использует и создает новую информацию, и все это придется встроить в модель физического применения технологии на производстве.

13.4. Миграция и распределение рабочей силы

Как мы уже говорили, особой популярностью пользуется представление о том, что индустриализацию подпитывают инвестиции, отвлеченные от потребления в пользу капитала, — это позволяет нарастить будущее производство. Эту теорию можно дополнить еще одним соображением: индустриализация возможна только в том случае, если работники покидают фермы и перебираются в города, и тогда капитал, отвлеченный от потребления, можно пустить в дело. В соответствии с таким представлением оптимальный процесс развития неразрывно связан с миграцией из сельских районов в городские, причем с той ско-

ростью, с какой подпитываемые капиталом заводские мощности городов смогут принимать работников. Процесс не должен быть слишком медленным, чтобы оборудование не простаивало, но и слишком большую скорость тоже допускать нельзя, потому что тогда города превратятся в трущобы, населенные безработными мигрантами. Независимо от того, что служит причиной, а что следствием (миграция, индустриализация, либо они замкнуты в причинно-следственный цикл), оба этих процесса всегда происходят вместе. В аграрных обществах доля сельского населения составляет 80%, в то время как в промышленно развитых странах 80% или более приходится на долю городского.

Миграцию из села в город обычно связывают с распределением рабочей силы. Оно учитывает, как работники находят себе место и как переходят из отрасли в отрасль, когда потребности экономики меняются. Поменять работу, не меняя место проживания, — совсем не то же самое, что переехать из одного региона в другой, в особенности если речь идет о переезде из деревни с ее традиционным укладом жизни в растущий город. Решения, которые приводят к миграции из села в город, — не просто смена работы, ведь жизнь работой не ограничивается. Поэтому теория распределения рабочей силы может быть частью теории миграции, хотя обычно это не единственная ее составляющая. Варианты могут быть разными: некоторые из девяти моделей учитывают распределение работников, но не миграцию, другие описывают миграционные перемещения, но не принимают в расчет распределение рабочей силы, третьи включают в себя и то, и другое.

1. Мысленные модели

Что заставляет людей менять одну работу на другую и переезжать с места на место? Социологические теории миграции обычно предлагают три группы факторов.

1. «Исход» из родных мест из-за того, что условия слишком неблагоприятны (нет работы, низкие зарплаты).
2. «Нашествие» в места проживания, привлекающие своими возможностями (хорошая работа, большой заработок, огни большого города и «гламурная жизнь»).
3. Препятствия к смене места; они могут относиться как к регионам, *откуда* уезжают люди, так и к областям, *куда* они стремятся (расставание с родными и близкими, высокие транспортные расходы и даже естественный страх перед неизвестным)[11].

Факторы, которые гонят людей из родных мест, привлекают в чужие края и препятствуют перемещениям, сложно формализовать численно. Даже некоторые вполне измеряемые понятия (заработная плата, расстояния, стоимость проживания) могут иметь относитель-

ный характер. На принятие решения о смене работы и переезде с места на место могут влиять все три фактора, и значимость у них может быть разная.

Очень важно разобраться в *относительных* характеристиках мест, из которых люди уезжают, и областей, куда они стремятся попасть, — этот показатель получил название «относительная привлекательность»[12]. В нем могут учитываться такие соображения, как вид работы, уровень оплаты, затраты на проживание, вид окружения, личные связи, наличие или отсутствие дискриминации... У каждого человека будут свои представления об относительной привлекательности дома в сравнении с каким-либо другим местом, все основано на личном восприятии. Решения, влияющие на миграцию, могут меняться как в зависимости от реальных изменений, происходящих в разных местах, так и из-за смены представлений об этом (что может быть субъективным и не соответствовать действительности). Информацию потенциальные мигранты могут получать из самых разных источников — от телерадиопрограмм до личных связей. Изменение представлений происходит не сразу, а с некоторым запаздыванием, и величина задержки, вероятно, существенно больше для зон, куда собираются отправиться мигранты, чем для их текущего места проживания.

Расхождение в привлекательности между домом и местами, «где нас нет», не всегда ведет к миграции, поскольку существуют самые разные препятствия, включая возраст, уровень образования и уверенности в своих силах, экономический класс, к которому относится потенциальный мигрант, привязанность к семье, обладание собственностью, профессиональная квалификация и навыки, средства на билет или аренду автомобиля. Нельзя исключать из рассмотрения пол, национальную и расовую принадлежность. При оценке мобильности можно группировать людей по самым разным признакам. Кто-то легок на подъем и способен сразу же отправиться на поиски лучшей доли, кому-то другому для этого нужен весомый повод, а кто-то третий не стронется с насиженного места, даже если снова начнется татаро-монгольское иго. И статистические исследования, и обычный здравый смысл говорят о том, что в самые мобильные группы населения попадает образованная молодежь, относящаяся к среднему классу, либо люди, не обремененные собственностью, в отличие от представителей старшего поколения, необразованных и бедных слоев, а также тех, кто владеет землей.

Представления об относительной привлекательности и мобильности будут достаточны для описания миграции (и индустриализации вместе с ней) только на первых порах, ведь это микротеории. Они могут пролить свет на механизм принятия решений отдельными людьми, но не в состоянии описать целые волны миграции и учесть другие

аспекты индустриализации на макроуровне. Как влияют на масштабы миграции рост численности населения и технологические изменения? Как люди, умеющие работать только в сельском хозяйстве, вписываются в промышленные виды деятельности? Почему в последние десятилетия нескончаемый поток мигрантов наводняет города, причем процесс идет гораздо быстрее, чем в промышленности увеличивается количество рабочих мест или становится доступным жилье в городской черте?

В дополнение ко всему представления об относительной привлекательности и мобильности по своей сути слишком застывшие. Даже если измерять их для населения в конкретном регионе в текущий момент и на основании этой информации описывать миграционный поток, все равно необходимо разобраться в том, как сам факт миграции повлияет на будущую привлекательность региона и мобильность населения.

2. Компьютерные модели

В девяти моделях из нашего обзора глубина понимания, подробность описания миграции и распределения рабочей силы сильно разнятся (см. рис. 13.7). Самые простые формулировки используются в модели SAHEL (в ней распределение рабочей силы отсутствует вовсе, и есть лишь один фактор, способствующий исходу населения из мест проживания), а также в системах **RfF и KASM (где миграция и распределение** рабочей силы задаются как внешние функции). В модели CHAC и сельскохозяйственной подсистеме **KASM про миграцию не говорится** практически ничего, однако используется довольно сложный механизм распределения работников, основанный на теории рыночного равновесия. Система SOS тоже не учитывает миграцию, однако расширяет рыночную теорию, чтобы охватить и те ситуации, когда рынок не достигает равновесия. Модель MexicoV совсем не уделяет внимания распределению рабочей силы, зато представляет собой первую серьезную попытку описать миграцию из сельских районов в городские как динамический процесс, основанный на представлениях об относительной привлекательности. Наконец, три оставшиеся модели — **TEMPO, LTSM и BACHUE — основаны на полнофункциональ**ной динамической неравновесной теории миграции и распределения работников, увязанной с многочисленными процессами в других подсистемах (взаимное замещение капитала и рабочей силы, распределение доходов и уровень рождаемости и др.).

Кочевое население Сахеля практически не имеет разновидностей рабочей силы, поэтому такое распределение модели SAHEL не нужно. В ней учитывается только источник миграционного потока — фактически используется только часть теории миграции. Племена кочуют в Сахельский регион и из него в зависимости от доступности продо-

вольствия — значение имеют только непосредственные потребности для выживания людей. В модели считается, что когда количество продовольствия на душу населения в Сахеле выше, чем уровень выживания, миграция в регион идет очень медленно. Когда оно снижается до порогового значения, приток становится нулевым, а если продуктов питания недостаточно для выживания, то начинается отток со всё возрастающей скоростью. Миграционный отклик поступает не мгновенно — он зависит от доступности продовольствия в предшествующие три года, причем показатели экспоненциально сглажены. Это класси-

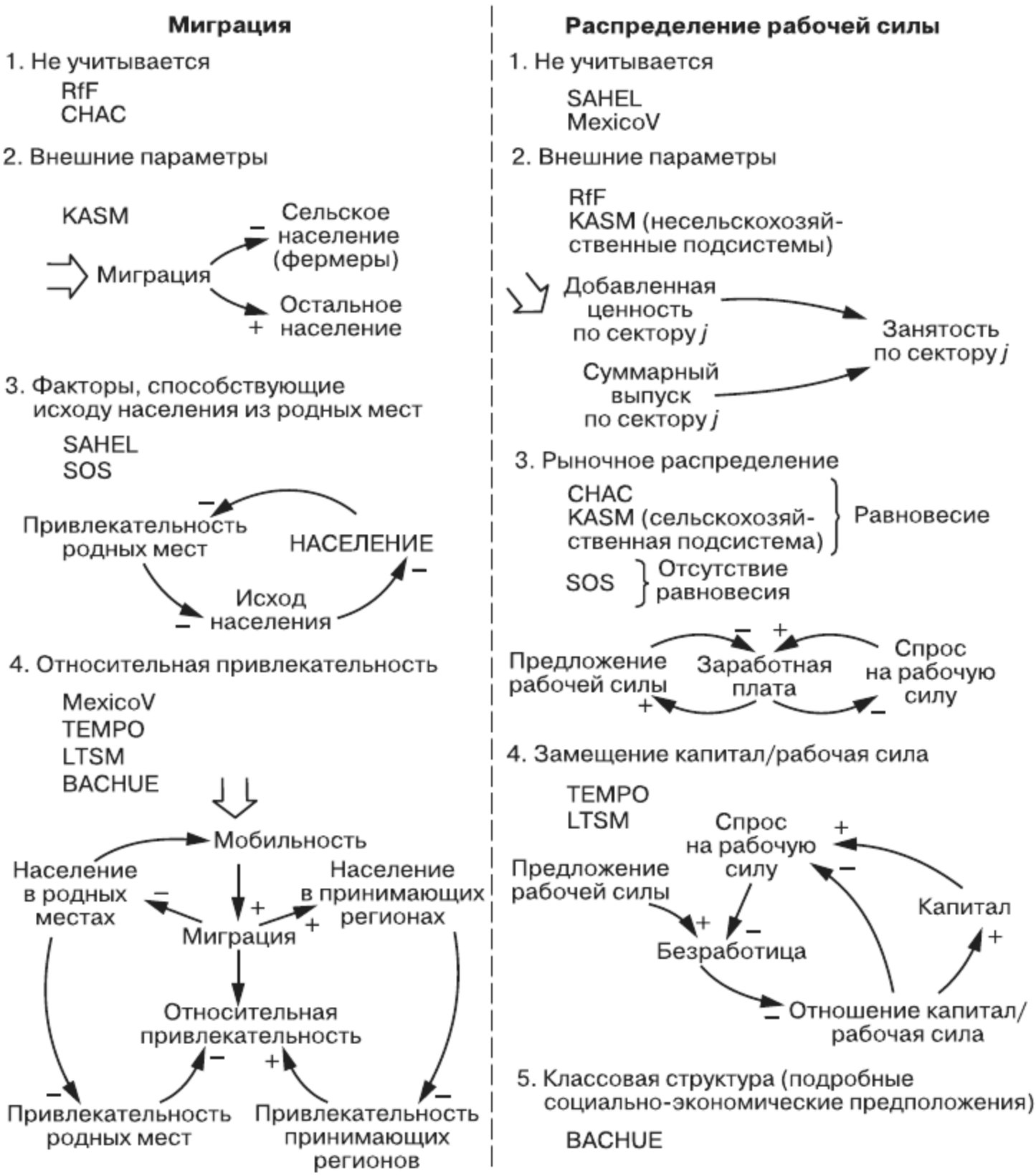


Рис. 13.7. Миграция и распределение рабочей силы в различных моделях

ческий пример миграции, когда неблагоприятные факторы вызывают исход населения с привычных территорий. Кочевники предпочли бы оставаться в Сахеле всегда, независимо от того, насколько привлекательны другие места, и единственная причина, по которой им приходится мигрировать, — голод. Несмотря на простоту описания, оно достаточно точно описывает перемещения кочевых племен Сахеля в период засухи, охватившей регион в начале 1970-х гг. Подобный вид миграции характерен для обществ с устоявшимися племенными традициями, не имеющих больших устремлений и обладающих скудной информацией о внешнем мире.

Модель RfF описывает промышленно развитую страну, в которой массовая миграция населения из сельских районов в городские практически завершилась, поэтому в ней нет разграничения на городское и сельское население. Рабочая сила распределена по 185 секторам в соответствии с матрицей «затраты-выпуск», в которой учитываются внешние предположения о добавленной стоимости по каждому сектору. Экономика в целом растет с такой скоростью, чтобы обеспечивать практически полную занятость (не ниже 96%). Работники плавно перемещаются по отраслям, туда, где они нужнее всего, и экономика автоматически подстраивается под любое дополнительное количество рабочих рук. Такая модель не позволяет исследовать проблемы урбанизации, распределения рабочей силы и безработицы. Ее целью было снабдить комиссию по населению инструментом, чтобы оценить последствия для экономики и окружающей среды от различных скоростей роста населения. Прочие аспекты она детально оценить не позволяет. С одной стороны, компьютер может рассчитать точные количества работников и ставки их зарплат по всем 185 отраслям производства за каждый конкретный год. С другой — он ничего не говорит о влиянии роста численности населения на доступность работы, об особенностях урбанизации и распределении загрязнений, о реальных доходах и технических решениях по инвестированию капитала.

В модели KASM различаются три вида миграции. Во-первых, на военную службу призывается значительное количество молодых людей в возрасте от 20 до 24 лет, как из сельских, так и из городских районов, и это уменьшает доступную рабочую силу. Точное количество призывников задается как параметр извне. Во-вторых, существует чистая эмиграция из Кореи — этот показатель тоже внешний и относится только к городскому населению. В-третьих, существует миграция из сел в города. Обычно она тоже задается извне, однако существует возможность указать разность между спросом и предложением рабочей силы в промышленной экономике (эту функцию задает пользователь) и таким путем описать миграцию в более привлекательные районы страны. В любом случае программа просчитывает величину

суммарной миграции из села в город, после чего проводит детальный учет половозрастного распределения мигрантов в соответствии с весовыми коэффициентами, полученными из фактических данных за прошлые периоды. Во всех трех типах миграции степень детальности и обилие данных выглядят явно избыточными, если вспомнить, какую цель преследует модель, и учесть несоответствие между столь сложными внутренними структурами и предельно простыми внешними причинно-следственными связями.

Как в модели **RfF, система KASM распределяет работников по секторам** матрицы межотраслевого баланса в зависимости от заданных извне коэффициентов добавленной стоимости. Работники на фермах распределяются по оптимизационному алгоритму, нацеленному на максимизацию прибыли фермерских хозяйств в условиях свободного рынка. В программе предусмотрено два ограничения по рабочей силе: одно для сезонных работников в разгар сельскохозяйственных работ, другое — для остального времени года.

В модели CHAC описывается страна, в которой миграция между селом и городом очень велика, однако система при этом рассматривает только аграрный сектор экономики и только за один год. По этой причине миграция из сельских районов в городские в ней отсутствует вовсе. Модель рассчитывает количество безземельных работников, перемещающихся между различными сельскими районами по ходу сезона. Учитываются и перемещения землевладельцев во время сухого периода по тем территориям, где ведется земледелие без использования орошения. Система CHAC оперирует четырьмя регионами, в которых учитываются работники и их заработная плата (решается система оптимизационных уравнений). Если в каком-то регионе работников слишком много, они могут перебраться в другую часть страны в поисках более высокой заработной платы. Когда модель запускается для расчета конкретного года в будущем, предположения о величине миграции, как и другие демографические параметры, должны задаваться независимо, чтобы можно было установить ограничения по рабочей силе для этого года. Модель **CHAC подробно и вполне правдиво** описывает ужасающе высокий уровень безработицы в сельских районах Мексики, однако не дает никакой информации о ее причинах или средствах борьбы с ней.

Оптимизация распределения рабочей силы в моделях RfF и KASM выполнена по-разному. В RfF основой служит матрица «затраты-выпуск», в которой нехватка рабочих рук выступает ограничивающим фактором производства (либо наоборот, часть работников останется не у дел, если другие ограничивающие факторы окажут большее влияние). Фермеры в модели в ответ на нехватку рабочей силы (и других факторов производства) меняют распределение посевов, чтобы добиться наибольших прибылей при имеющемся количестве работ-

ников. В системе **KASM оптимизационный алгоритм встроен в динамическую** имитационную модель, и подстройка происходит в последующие годы — зарплаты могут увеличиваться или уменьшаться, инвестиции в технику могут замещать потребности в дополнительных работниках, если это экономически оправданно.

Модель **SOS, как и RfF, описывает США, где проблемы распределения** между селом и городом нет, поэтому в них такая детализация не предусмотрена. Но представление о чистой иммиграции в страну и эмиграции из нее в модели есть. При «нормальных» условиях, когда уровень занятости в США составляет 95% или выше, чистая иммиграция за год составляет 0,2% от численности населения страны. Если уровень занятости падает, иммиграция уменьшается, а при занятости 90% или ниже начинается эмиграция из страны. Этот механизм аналогичен предположению модели SAHEL о неблагоприятных условиях, вынуждающих население менять место проживания, за исключением побудительной причины. Если в Сахельском регионе причина исхода племен — голод, то в модели SOS фактор, запускающий эмиграцию, — безработица.

В модели **SOS предусмотрено подробное распределение работников** по секторам промышленности. Оно основано на кибернетической теории, использующей обратную связь. Население в модели разбито на четыре возрастных группы: дети (от года до 17 лет), молодежь (от 18 до 24 лет), работоспособное население (от 25 до 64 лет) и пенсионеры (от 65 лет и старше). Каждая из этих групп разделена на шесть подгрупп по статусу:

1) в процессе получения образования;
2) в социальных учреждениях;
3) неработающие;
4) в процессе обучения/повышения квалификации;
5) оплачиваемые работники;
6) неоплачиваемые работники (домохозяйки).

В итоге модель располагает 24 группами, полностью охватывающими виды и потребности в рабочей силе в 12 секторах производства. Каждый сектор располагает технической матрицей, в которой задано 20 различных факторов производства, с указанием, какая доля каждого из них необходима на единицу продукции в данном секторе. Рабочая сила — фактор под номером 18. Каждой год рассчитывается желаемый объем выпуска; с помощью матрицы он преобразуется в итоговую потребность по всем факторам, включая рабочую силу. Если доступная рабочая сила недостаточна, производство в этот год пропорционально снижается. На следующий год принимаются корректирующие меры — в соответствующих секторах увеличиваются зарплаты, работ-

ники перемещаются из других секторов и неоплачиваемых категорий, либо некоторые факторы, доступные в избытке, замещают собой потребность в рабочей силе, либо снижается спрос на продукцию сектора. Корректирующие меры могут потребовать определенного времени и могут оказаться недостаточными. Подобное представление отличается от моделей RfF и KASM (несельскохозяйственные подсистемы), в которых рабочая сила автоматически и без запаздываний появляется именно там, где в ней есть потребность. У модели **SOS есть общие черты** с системами CHAC и KASM (модуль сельского хозяйства) — в ней предусмотрено три принципиальных механизма подстройки в случае нехватки рабочих рук:

1) предложение рабочей силы увеличивается;
2) производство продукции снижается, поэтому спрос на рабочую силу становится меньше;
3) потребность в рабочей силе замещается какими-либо другими факторами.

Но в модели **SOS подстройка происходит не мгновенно и не обязательно** оптимальным образом. Рынок рабочей силы в этой системе вовсе не всегда находится в равновесии.

Модель MexicoV носит слишком обобщенный характер, чтобы ей была нужна отдельная функция для распределения рабочей силы. В ней нет списка экономических секторов, и работники не являются фактором производства. Однако функция, описывающая миграцию из сельских районов в городские, в модель включена, поскольку Бельтран дель Рио считал миграцию доминирующим процессом в мексиканской экономике и хотел разобраться в ее особенностях. В своих работах он упоминал, что его беспокоит расхождение в производительности труда между промышленным сектором и сельским хозяйством (в 5 раз) и что мексиканский рабочий в городе располагает в 8 раз бóльшим производственным капиталом, чем работники села. При этом доля городского населения в 1950 г. составляла 43% , а в 1968 г. — уже 58% . Распределение жителей страны между селом и городом на другие факторы в модели не влияет, однако обратная связь сказывается на уровне инфляции, хотя косвенно и довольно слабо.

В модели MexicoV доля населения, проживающего в городах, для будущих периодов рассчитывается по уравнению:

$$\text{Доля городского населения в общей численности} = a + b \cdot \text{Время} + c \cdot (\text{Разница в производительности между городскими и сельскими районами}) \cdot \text{Распределенная задержка}.$$

Задержка распределяется на три года. Разность между производительностью труда в городе и на селе рассчитывается через общий

объем производства в промышленности, деленный на городское население, и общий объем сельскохозяйственного производства, деленный на сельское население. При этом объем производства представляет собой линейную функцию от соответствующего капитала. Обратите внимание на присутствие в уравнении времени в качестве множителя. Интересно также, что мигранты в модели реагируют на потенциальную производительность труда, а не на фактический уровень производства или текущую занятость.

В таком описании миграции заключены две петли отрицательной обратной связи (см. рис. 13.8). Если рассмотреть продолжительный временной промежуток, то они приведут модель к выравниванию производительности в городских и сельских районах (а может, сельская даже станет выше, поскольку в миграционном уравнении есть множитель — время). В реальной системе, однако же, все происходит наоборот: производительность труда в промышленности выше, и разрыв только увеличивается. В соответствии с гипотезой модели MexicoV, так происходит только в том случае, если городской капитал растет быстрее, чем происходит миграция.

В уравнения, включающие рабочую силу, Бельтран дель Рио внес также в неявном виде гипотезу о демографических параметрах мигрантов. Доля занятых работников в городе *снижается* с *увеличением* городского капитала и с *уменьшением* простаивающих производственных мощностей. Другими словами, большее количество рабочих мест соответствует более низкому проценту задействованной рабочей силы. Весьма странное соотношение, но автор модели объясняет его так: больший городской капитал и более высокая степень использования производственных мощностей стимулируют поток мигрантов из села в город, причем переселенцы относятся к беднейшим слоям с самой низкой долей работников относительно количества иждивенцев. Когда такие мигранты прибывают в город, доля работников в общем городском населении уменьшается[13]. Бельтран дель Рио пришел к подобному заключению в результате анализа статистики за период с 1950 по 1968 г. Тогда наблюдался быстрый рост городов, и доля занятой рабочей силы в городе упала с 31,9 до 27,3%, в то время как занятость сельских работников возросла с 31,6 до 37,1%.



Рис. 13.8. Миграция в модели MexicoV

Здесь мы сталкиваемся с классической проблемой: как выяснить, имеем ли мы дело с корреляцией или налицо причинно-следственная связь? Увеличение количества рабочих мест, вероятно, ведет к росту занятости самым непосредственным образом, и это логично, однако на миграцию влияют и другие факторы, а не только наличие рабочих мест. Поэтому приток мигрантов оказывается сильнее, и количество работников увеличивается гораздо быстрее, чем появляются рабочие места для них (см. рис. 13.9). Модель, основанная на фактических данных, накопленных за прошедшие периоды, позволяет уловить лишь результирующие последствия. На рис. 13.9 соответствующие связи показаны жирными стрелками, и они свидетельствуют о том, что дополнительный капитал ведет к уменьшению занятости. Однако в Мексике миграция происходила практически независимо от наличия рабочих мест в городах — видимо, в первую очередь на нее влияли другие факторы. Среди них можно назвать перенаселенность, нищету и полное отсутствие жизненных перспектив на селе.

Оставшиеся три модели — **TEMPO, LTSM и BACHUE — включа**ют в себя связанные друг с другом теории миграции и распределения рабочей силы, причем в них явным образом заданы характеристики и исходного места проживания, и принимающих регионов, а также показатели мобильности потенциальных мигрантов. Их стоит обсуждать в порядке возрастающей сложности, поэтому начать лучше с модели TEMPO, самой простой из них.

Результирующий поток мигрантов из села в город в системе TEMPO зависит от отношения доходов необразованного городского населения к доходам сельских жителей:

$$\text{Миграция} = m_1 \cdot R^{m2} \cdot \text{Сельское население},$$

$$\text{где } R = \frac{W \cdot \text{Промышленный валовой продукт}}{\text{Необразованное городское население}} \Big/ \frac{\text{Сельский валовой продукт}}{\text{Сельское население}}$$

В этом уравнении W — доля доходов в виде заработной платы неквалифицированной рабочей силы в промышленности (экспонента от неквалифицированной рабочей силы в производственной функции

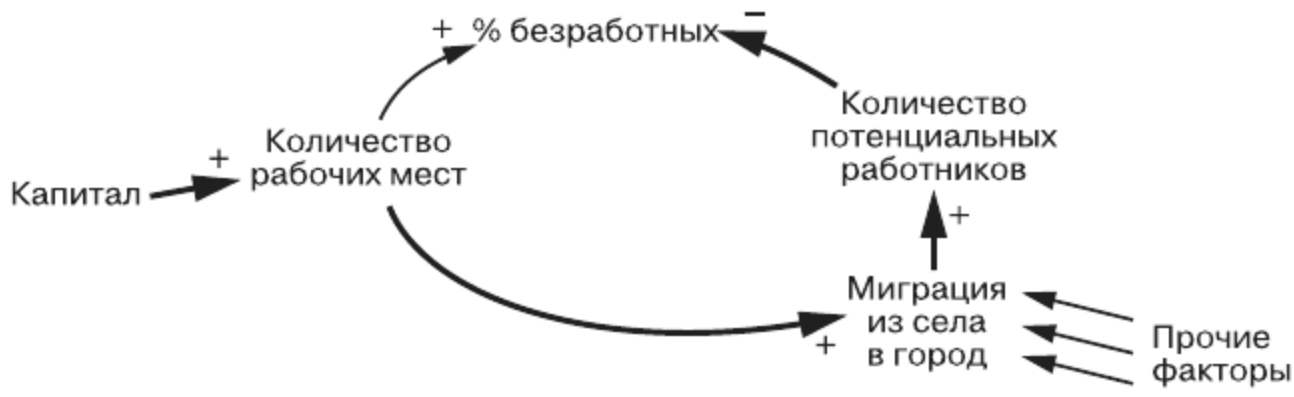


Рис. 13.9. Причинно-следственная связь или корреляция в миграции

Кобба-Дугласа), m_1 — постоянная, описывающая начальные условия, m_2 — показатель чувствительности сельского населения к изменениям в пропорции между доходами в промышленности и доходами в сельском хозяйстве. Фактически m_2 представляет собой одновременно характеристику мобильности и факторов восприятия (затрат на переезд, стоимости проживания, культурных предпочтений и т. п.). Если $m_2 = 0$, то чистая миграция превращается в постоянную долю (m_1) сельского населения, независимо от условий в исходных местах проживания и в принимающих регионах. Если $m_2 = 1$, то доля мигрирующего населения пропорциональна отношению доходов. Как правило, значение m_2 лежит между 0 и 1. Совокупная миграция рассчитывается по уравнению с учетом половозрастных групп, каждой из которых назначается внешний весовой коэффициент по той же методике, что и в модели KASM.

При такой зависимости с ростом сельского населения увеличивается и миграция; при большем выпуске промышленной продукции (например, при совершенствовании технологий) миграция тоже будет расти. Потоки переселенцев уменьшатся, если в сельском секторе возрастет производство или увеличится безработица в промышленности. Относительная привлекательность описывается сводным показателем средней разности в доходах. Мобильность отображается константой m_2 и весовыми коэффициентами в половозрастных группах. Миграция увеличивается или уменьшается в ответ на изменение доходов сразу же, без запаздывания. Мигрантам после переселения немедленно приписываются коэффициенты фертильности и производительность труда, свойственные городскому необразованному населению.

Структура обратных связей при таком представлении о миграции похожа на строение модели **MexicoV, но носит несколько более явный** характер (см. рис. 13.10). По мере того как население мигрирует



Рис. 13.10. Миграция в модели TEMPO

из сельских районов в города, процесс начинает ослаблять сам себя, поскольку доходы за счет зарплат в городском секторе начинают делиться на большее количество человек и потому снижаются, а в сельской местности происходит обратное, и доходы оставшегося населения растут. Две внутренних отрицательных петли обратной связи должны работать так же, как в модели MexicoV, выравнивая доходы по двум секторам, и тогда миграция прекратится.

Две внешних положительных петли обратной связи, показанные на рис. 13.10, в модели MexicoV отсутствуют. Они описывают положительный вклад населения в душевые доходы за счет труда. В системе **TEMPO для рабочей силы в сельском хозяйстве характерен** сокращающийся доход, а неквалифицированные работники в промышленности имеют относительно низкую производительность труда, поэтому внешние положительные циклы обратных связей не очень сильны. Вся структура миграции зависит от развития технологий и приращения капитала в промышленности, и в целом наблюдаются экспоненциальный рост доходов и усиливающаяся миграция из сел в города.

Распределение рабочей силы в модели **TEMPO очень простое, по**скольку в системе всего два сектора производства (промышленность и сельское хозяйство) и три типа рабочей силы (сельские, неквалифицированные городские и квалифицированные городские работники). В результате миграции неквалифицированная рабочая сила перемещается между сельским хозяйством и промышленностью. Количество квалифицированных работников в промышленности зависит от государственных расходов на образование, сохраненных с возрастной структурой населения. Распределение рабочей силы по полу, возрасту и уровню образования задается извне и со временем не меняется. Уровень занятости квалифицированной рабочей силы также принят постоянным — это определенная доля от общего числа образованных работников. Доля занятых среди неквалифицированных работников зависит от отношения капитал/рабочая сила. Если капитал на одного работника возрастает, то доля работающих асимптотически увеличивается до некоего максимального уровня занятости. Приращение капитала в расчете на одного работника зависит от количества безработных — если предложение рабочей силы на рынке недостаточно, то дополнительный капитал создает меньшее количество рабочих мест, чем во времена высокой безработицы. Таким способом отражается влияние зарплат на замещение рабочей силы капиталом, хотя в явном виде зарплаты в этом процессе не фигурируют.

Модель **LTSM содержит функции миграции и распределения рабо**чей силы примерно в том же виде, что и система **TEMPO. Основное раз**личие состоит в том, что распределение дано подробнее: десять экономических секторов, семь промышленных областей с наемной рабочей

силой, три типа занятости для семейного труда в сельском хозяйстве. Уравнение, описывающее миграцию в модели LTSM, выглядит так:

$$\text{Миграция}_t = \text{Миграция}_{t-1} \times \frac{\text{Сельское население}_t}{\text{Сельское население}_{t-1}} \times$$

$$\times \frac{\text{Весовой множитель}_t}{\text{Весовой множитель}_{t-1}} \times \begin{matrix}\text{Множитель, отражающий} \\ \text{разницу в производительности}\end{matrix}$$

Весовые множители появляются и в модели BACHUE (на самом деле разработчики LTSM именно у нее и позаимствовали этот метод). Такой подход позволяет отобразить идею о том, что миграция между двумя местами проживания будет происходить интенсивнее в том случае, если численность населения в них сопоставима, в отличие от ситуации, когда они сильно различаются по количеству. Весовой множитель рассчитывается по формуле

$$\frac{(\text{Сельское население}) \times (\text{Городское население})}{(\text{Суммарное население})^2}$$

Этот показатель достигает максимального значения (0,25), если численности равны, и падает до нуля, если население практически полностью относится к сельскому или городскому.

Множитель, отображающий разницу в производительности труда в миграционном уравнении LTSM, зависит от изменений в чистом продукте на работника в промышленных секторах (наемный труд) в сравнении с сельскохозяйственными секторами (семейный труд). Относительная привлекательность в этом случае, как и в модели TEMPO, зависит от выпуска продукции на душу населения, а не на занятого работника. Миграционная теория в модели LTSM построена иначе, чем в TEMPO, но лишь за счет добавления весового множителя и учета изменений по всем взаимосвязям.

Модель LTSM построена для экономики, где рабочая сила имеется в избытке, поэтому проблема состоит не в том, чтобы распределить по отраслям работников, а в том, чтобы найти место для безработных. Изменения в уровне занятости в семи экономических секторах, использующих наемный труд, в каждый год пропорциональны изменению капитала в соответствующем секторе. Коэффициент пропорциональности, который называется поэтапным отношением занятости к капиталу, может уменьшаться, если доля безработных снижается. Фактически, если рабочая сила перестанет быть избыточной и дешевой, капитал начинает замещать уменьшившееся количество работников (становится менее трудоинтенсивным). В обратном направлении изменения не происходят — высокая безработица не приводит к замещению капитала на большее количество работников. В современном сельском хозяйстве отношение занятости к капиталу может быть отрицатель-

ным. И в городских, и в сельских районах предполагается, что рабочая сила немедленно доступна там, где она нужна, в любом секторе экономики. При этом в первую очередь миграция идет в направлении из сельской местности в города. В секторах, использующих семейный труд, уровень занятости не рассчитывается, поскольку предполагается, что такая работа найдется для каждой пары рук. По этой причине производительность труда в этой сфере относительно невелика.

Модель LTSM поднимает интересный вопрос: почему в областях, где постоянно имеется избыток рабочей силы, неизбежно наблюдается увеличение интенсивности капитала, вместо того, чтобы больше задействовать людей? К сожалению, модель не углубляется в эту проблему и на вопрос ответа не дает, а просто констатирует происходящее как данность.

В системе **BACHUE миграция и распределение рабочей силы представляют** собой ключевые компоненты системы — этого и следовало ожидать от программы, разработанной Международной организацией труда ООН. Заложенные в модель представления очень подробны. Миграция рассчитывается и из сельской местности в города, и во встречном направлении, причем потоки мигрантов подразделяются по возрасту, полу, образованию и даже семейному положению. Предположения о мобильности довольно многочисленны и задаются извне для каждой группы населения. Согласно им, образованные люди с высокой вероятностью переместятся из сел в города, но не наоборот, одинокие мигранты обладают большей мобильностью, чем семейные, и т. д., и т. п. Склонность к миграции затем умножается на показатель относительной привлекательности, описывающий принимающий регион. Учитывается соотношение доходов в нем и в месте исходного проживания для уровня квалификации, зависящего от образования. Совокупная функция миграции затем умножается на весовой коэффициент, подобно тому, как это делалось в модели **LTSM. В системе BACHUE для расче**та миграции используются три вида параметров: подробные предположения о мобильности на микроуровне, предположение на макроуровне об относительной привлекательности, зависящей от доходов, а также весовой множитель.

Модель **BACHUE распределяет работников по пяти отраслям про**мышленности и четырем секторам сельского хозяйства. Доля занятых не задается извне, как это было во многих моделях, но и не ограничивается зависимостью только от экономических показателей вроде уровня зарплат. Разработчики **BACHUE сочли, что занятость работ**ников в первую очередь зависит от социологических факторов, потому что тот, кто действительно хочет работать, всегда найдет себе место, пусть даже в традиционном секторе экономики с низкой производительностью труда. Фактически модель предполагает, что все мужские руки в частных хозяйствах заняты работой. Другие члены семьи стре-

мятся работать тем больше, чем выше их образование, особенно если семья имеет невысокие доходы. Если такая возможность есть, то они предпочитают работу в промышленном секторе. К работе стремятся все члены семей, главы которых руководят традиционным семейным предприятием, особенно если детей, о которых надо заботиться, немного.

Рабочая сила рассчитывается с учетом всех этих факторов и распределяется по экономическим секторам в ходе трехшаговой процедуры. Первый шаг — расчет суммарной добавленной стоимости (учет трудозатрат) для каждого сектора. Он ведется в экономической подсистеме модели. Доли добавленной стоимости распределяются в виде прибылей по владельцам предприятий, квалифицированным и неквалифицированным работникам, при этом соблюдаются исторические особенности распределения, характерные для разных стадий индустриализации. Результат расчетов — денежные средства, которые в ходе второго шага распределяются среди работников, относящихся к каждой категории, причем учитывается соответствующий уровень занятости. В результате деления определяются доходы каждой категории по всем секторам. Третий шаг учитывает миграцию рабочей силы между категориями и перемещения населения между городом и селом в ответ на разницу в доходах (миграция всегда идет в направлении, которое стремится выровнять получаемые доходы). Заданные извне параметры эластичности показывают, насколько интенсивным будет движение рабочей силы в зависимости от разницы между уровнями зарплат — все категории сравниваются между собой попарно. В показателях эластичности кроются многочисленные социально-экономические предположения: переместиться из традиционного сектора (сельского хозяйства) в промышленный сложнее, чем наоборот; попасть в категорию самозанятого населения или владельцев предприятий, получающих прибыль, достаточно сложно; квалифицированному специалисту перейти из одной отрасли в другую можно практически беспрепятственно. Поскольку показатели эластичности разные, к выравниванию доходов система не подходит даже близко. На это влияет также наличие запаздываний по времени, предполагаемые и фактические расхождения в уровне зарплат между различными видами деятельности — в итоге никакая миграция рабочей силы не может привести к равенству доходов. Как и в модели SOS, система постоянно стремится к равновесию, но никогда не достигает его.

3. Выводы и комментарии

Более половины создателей тех моделей, что вошли в наш обзор, отмечают, что безработица и миграция — основные силы и одновременно главные проблемы в странах, которые они изучали и описывали.

Но при этом пять моделей из девяти не содержат структур, отображающих миграцию или подвижки трудовой силы, — как максимум, такие параметры задаются извне, и это означает, что вопрос отдается на откуп мысленным моделям. Другие системы осуществляют плавное распределение рабочей силы в соответствии с существующими потребностями, опираясь на таблицу межотраслевого баланса или алгоритм оптимизации. Фактически, они просто заявляют, что рабочая сила в системе перераспределяется, но не дают никаких пояснений о том, как и почему это происходит. Никакие проблемы, связанные с запаздыванием или недостаточным откликом работников на изменяющиеся потребности производительной системы, не рассматриваются вовсе, и обратное влияние тоже. Лишь одна модель отражает примерный (заведомо неточный) отклик рабочей силы, причем с учетом запаздывания, на смещение экономических потребностей. В трех моделях делается попытка найти управленческие решения для взаимного замещения между капиталом и рабочей силой. При этом ни одна модель в явном виде не описывает принятие решений домохозяйствами, которые влияют на баланс между занятостью и свободным от работы временем, хотя какие-то неявные намеки на это присутствуют в модели BACHUE.

Понятие относительной привлекательности так или иначе фигурирует в четырех из девяти моделей, однако во внимание принимается лишь какой-то один ее аспект — либо доходы, либо производительность замещающего труда. Ни одна модель не приводит в явном виде гипотезу об информации, на основании которой люди принимают решение о миграции; нигде даже не ставится вопрос о неполноте и неточности этой информации. В некоторых случаях коэффициент, связывающий относительные доходы с миграционным потоком, не обладает свойством эластичности, и тогда большое расхождение по доходам между городом и деревней в системе сохраняется все время, но при этом нигде не поясняется, *почему* коэффициент неэластичен.

Представления о миграции и распределении рабочей силы в моделях TEMPO, LTSM и особенно BACHUE довольно сложны и, вероятно, соответствуют современному пониманию связей между экономической структурой и принятием решений на уровне семьи. Мало какие модели могут объяснить или хотя бы воспроизвести процессы, происходящие при распределении рабочей силы, — они довольно загадочны и не имеют очевидных объяснений. Почему мигранты продолжают прибывать в город, хотя уровень безработицы и так очень высок? Почему при столь высокой безработице никуда не исчезает разница в доходах между городом и деревней? Почему в прошлом миграция и принятие на работу в развитых странах, которые в то время еще только вступали в индустриальную эру, проходили плавно, а в современном мире в развивающихся странах те же процессы идут резко и непредсказуемо?[14]

Единственный совет, который логически вытекает из моделей и может быть адресован правительствам, обеспокоенным слишком быстрой урбанизацией, — увеличивать доходы или формировать капитал в сельской местности. К этому выводу вполне можно прийти на основе лишь мысленных моделей, без каких-либо компьютерных систем.

Но есть и положительные аспекты. Несколько моделей признают важность миграции и оказываемое ею влияние (пусть и трудноуловимое) на различные сферы развивающейся экономики. Миграция — быстрый и эффективный ответ отдельных людей на экономические проблемы и возможности. Раз она происходит, значит, ее выгоды очевидны, она предоставляет людям более широкие перспективы, чем другие варианты реакции — например, изменение личных привычек, системы ценностей или попытка улучшить условия в исходном месте проживания. Когда совокупность отдельных решений приводит к массовым миграционным потокам, это влияет и на исходное местоположение, и на принимающий регион, и на самих мигрантов. Некоторые из таких эффектов могут быть неожиданными. Миграция может затруднить или вовсе сорвать программы регионального развития, привести к перераспределению затрат и доходов между территориями или социальными слоями таким образом, что нести экономическое бремя и пользоваться благами будут совсем не те, кому это положено.

Модели в нашем обзоре, в особенности BACHUE, сыграли важную роль в описании миграции как сложного и недостаточно изученного процесса, сопутствующего индустриализации. Он может сделать совершенно бесполезными управленческие усилия, обратить вспять государственные программы и привести к неожиданным результатам. Область моделирования продолжает развиваться, и сделанные заключения должны обеспечить дальнейшее изучение этой темы, проведение наблюдений, экспериментов, выдвижение и проверку гипотез о роли миграции между сельскими и городскими районами в экономике развивающихся стран.

13.5. Окружающая среда и природные ресурсы

Любое промышленно развитое общество построено не только на капитале, рабочей силе и технологии. Оно использует также нефть, сталь, почвы, воду, солнечный свет и своего рода «обслуживание» окружающей среды, которая производит питательные вещества и разлагает загрязнения. Здоровая окружающая среда и правильно работающие природные процессы — вид экономического блага, вполне реального, хотя и не измеряемого в традиционном денежном выражении.

В прошлом индустриализация никогда не была связана с ресурсами и окружающей средой в простой и однозначной форме. С одной сторо-

ны, богатые запасы угля и железных руд послужили основой для развития промышленности в Великобритании. США использовали для промышленного роста девственные леса, целинные земли и богатые месторождения полезных ископаемых целого континента. Происходящая сейчас индустриализация в Венесуэле и Саудовской Аравии имеет прямое отношение к добыче нефти. Однако другие страны — например, Япония, Швейцария, Венгрия — развили свою промышленность без значительных собственных ресурсов. При этом обладающие богатейшими ресурсами Бразилия и Индия в промышленном развитии сильно отстают... Оказывается, доступность ресурсов, расположенных «под рукой» и обходящихся без больших затрат, ничего не гарантирует — фактически это условие нельзя назвать ни достаточным, ни необходимым для промышленного развития на начальных стадиях.

Однако поддержание индустриального общества на дальнейших этапах уже не может обойтись без огромных и при этом непрерывных потоков сырья и других ресурсов. Затраты на поддержание подобного «природного капитала», чтобы он обеспечивал постоянное «экологическое обслуживание» и сырье для производств, могут составить весьма значительную долю от общих затрат на промышленную систему. Другими словами, растущее промышленно развитое общество налагает на окружающую среду и природные системы все бóльшую нагрузку, их использование сопряжено с сокращающимся доходом. В какой-то момент лимитирующим фактором производства становится не капитал и рабочая сила, а природные ресурсы.

1. Мысленные модели

Экономисты обычно представляют себе индустриальное общество как сложную, разветвленную, но при этом замкнутую сеть финансовых потоков. В чем-то она подобна кровеносной системе с ее артериями и венами. Если экономисты и включают в эту картину ресурсы, то только в виде финансовых потоков. Чем быстрее денежный поток, тем больше будут объемы ресурсов, но их исходный физический смысл и природные стоки для загрязнений во внимание не принимаются.

Экологи больше склонны рассматривать структуру как аналог пищеварительной системы — незамкнутая последовательность преобразования энергии и материалов из состояния с низкой энтропией (залежи полезных ископаемых) сначала в готовые товары, а затем в отходы, для которых характерна высокая энтропия. При этом по ходу этого преобразования на каждом этапе в окружающую среду выделяются сопутствующие соединения и выбросы. Это однонаправленный материальный поток, который пронизывает человеческое общество, но при этом входит в сеть природных циклов, которая в масштабах планеты замкнута (круговорот воды, азота, других веществ в природе).

Если представлять себе человеческое общество как трубопровод, один конец которого выкачивает ресурсы из идеально настроенной замкнутой природной системы, а другой конец выбрасывает в нее отходы, в том числе ядовитые, картина рисуется совершенно иная. Природа уже не предстает неизменным и неистощимым источником ресурсов, доступных в ответ на денежные вливания. Люди начинают задумываться о том, как деятельность человека отражается на природе и как вписаться в существующую окружающую среду, не разрушая ее.

Обе точки зрения — и экономистов, и экологов — как частные представления правильны. Но обе неполны. Никакая экономическая деятельность не может создать ресурсы «из ничего» — все они уже были на планете раньше. Только научные знания, рабочая сила и созданный человеком капитал могут сделать ресурсы (например, шельфовые залежи нефти или урановые руды) доступными для использования. Интенсивное земледелие может привести к истощению почв, но есть также способы сделать их более плодородными. Использование ископаемых видов топлива позволяет сделать доступными больше ресурсов и увеличить количества используемой пресной воды, но в то же время может привести к кислотным дождям и изменению климата из-за повышенной концентрации CO_2. Промышленная экономика и природная среда взаимодействуют сотнями и тысячами способов. Экономика может обеднить или обогатить окружающую среду, природа может поддержать или ограничить экономику. Из-за того что природная система огромна и сложна, а в экономике многие факторы меняются и замещают друг друга, могут пройти десятки и даже сотни лет, прежде чем проявятся последствия такого взаимодействия.

2. Компьютерные модели

Полное представление о роли природных ресурсов в индустриализации требует, чтобы модель включала в себя всю экологическую систему и всю экономику. Это заведомо невозможно. Такая система была бы безнадежно сложна, даже если бы человек обладал всеми знаниями, необходимыми для ее создания. Разработчики моделей, рассмотренных в нашем обзоре, обошли это препятствие четырьмя разными путями (см. рис. 13.11).

1. В трех моделях природные ресурсы и окружающая среда просто отсутствуют.
2. В трех других прослеживается влияние ограничений по некоторым ресурсам на экономическую систему, но не наоборот.
3. В одной модели используется предположение о влиянии экономической системы на ресурсную базу, но обратного влияния при этом нет.

4. Две модели пытаются замкнуть петлю обратной связи и отобразить в единой системе и влияние экономики на окружающую среду, и наоборот.

В модели MexicoV природные факторы даже не упоминаются. В производственных уравнениях ресурсы не фигурируют ни в каком виде. Денежное выражение для экспорта свинца, меди, золота, серебра и цинка рассчитывается в секторе иностранных валют, но все параметры при этом задаются извне. Модель неявно предполагает, что никакие природные факторы или ограничения по ресурсам, включая обрабатываемые земли, воду и внутреннее предложение тех металлов, которые идут на экспорт, не влияют сколько-нибудь заметно на экономику Мексики на протяжении всего временно́го диапазона модели. Поскольку этот диапазон довольно непродолжителен, с таким предположением вполне можно согласиться.

1. ОТСУТСТВУЮТ (учитывается лишь обобщенный сокращающийся доход)

(MexicoV, BACHUE, TEMPO)

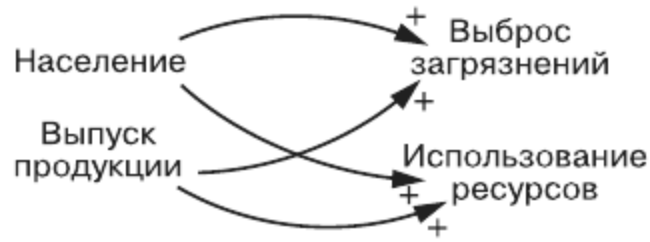
2. ВЛИЯНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО РЕСУРСАМ НА ПРОИЗВОДСТВО

(KASM, CHAC, LTSM)



3. ИСТОЩЕНИЕ РЕСУРСОВ КАК РЕЗУЛЬТАТ ПРОИЗВОДСТВА

(RfF)



4. ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ МЕЖДУ РЕСУРСАМИ И ПРОИЗВОДСТВОМ

(SAHEL, SOS)



Рис. 13.11. Функции, описывающие ресурсы и окружающую среду

Модели BACHUE и TEMPO также не содержат явного отображения окружающей среды. Однако в них есть неявное признание ограничений, связанных с ресурсами. В секторе, описывающем замещение в модели **TEMPO, в производственную функцию заложено сокращение** доходов для рабочей силы, что косвенным путем отражает последствия ограниченной площади территорий. Вероятно, скорость, с которой уменьшаются доходы в результате труда, можно указывать разную, в зависимости от того, какие площади доступны в той или иной стране. Модель **BACHUE признает пределы по земельным ресурсам** — это заложено в предположении о производительности труда в сельском хозяйстве (ее максимальный прирост составляет 2% в год). Это ограничение не такое строгое, как в модели TEMPO. Фактически это не абсолютный предел, а лишь утверждение, что совокупный эффект от обработки земли и увеличения урожайности постепенно превосходит природные ограничения, но не позволяет расширять их более чем вдвое за 35 лет.

Три модели задают ограничения по ресурсам и их влияние на производство явным образом, но не учитывают обратное влияние. Все они сельскохозяйственные: **KASM, CHAC и LTSM. В первых двух ресурсы**, используемые аграрным сектором, расписаны подробно, включая типы земель и географическое распределение, а также виды водных ресурсов (естественные осадки, вода из скважин и оросительных каналов). Предполагается, что ограничения можно делать не такими строгими за счет внешних инвестиций в обработку и расширение земель, построение оросительной сети и т. п. Совсем избавиться от них невозможно, равно как и уменьшить затраты. Эрозия, загрязнение воды, разрушение оросительных сооружений, засоление почв в системе не учитываются. Система **CHAC имеет достаточно короткий временной** диапазон, и это позволяет не учитывать деградацию окружающей среды без особого ущерба для полезности модели, а вот в KASM с ее 15-летним периодом из-за этого уже возможны натяжки.

Модель LTSM не рассматривает ограничения по водным ресурсам, однако включает в функцию сельскохозяйственного производства территории. Обрабатываемые земли можно расширить за счет государственных программ (и происходит это в модели без дополнительных затрат), либо уменьшить (что происходит, когда часть земель изымается под строительство). Но при этом площадь земель нельзя считать полноценным лимитирующим фактором, поскольку урожайность на 1 га экспоненциально растет, причем автоматически и без какого-либо ограничения по используемым материальным ресурсам (удобрениям).

Ни в одной из моделей не фигурируют такие факторы, как генетическое разнообразие растений, существующие виды насекомых, качество почв или использование солнечной энергии либо ископаемых

видов топлива в сельскохозяйственной деятельности. Системы KASM и CHAC учитывают применение удобрений, инсектицидов и сельскохозяйственной техники как факторы производства. Но они не отслеживают последствия от избыточного применения удобрений, вырабатывающуюся устойчивость насекомых к химикатам, уплотнение почвы под весом тяжелой техники. Зависимость современного аграрного сектора от нефти (непосредственная — при использовании техники, косвенная — при производстве удобрений и других продуктов нефтехимии) отсутствует совершенно.

Модель RfF — единственная из девяти, в которой разработчики попытались подробно рассчитать, какие ресурсы используются в промышленном производстве и какие загрязнения при этом выбрасываются в окружающую среду. Выпуск продукции по каждому из 185 секторов производства через внешние коэффициенты переводится в удельные количества используемых полезных ископаемых (19 видов) и объемы выбросов (13 видов). По данным 1976 г. о потребленных ресурсах оценивается отношение к денежному выражению объема продукции по всем промышленным секторам (расчеты ведутся в долларах). Для будущих лет коэффициенты берутся с поправками, задаваемыми извне (так учитываются технологические достижения, уже рассмотренные в соответствующей главе).

Система рассматривает только загрязнители с коротким временем жизни (такие как оксиды серы или переносимые по воздуху частицы) и не учитывает долгоживущие соединения (тяжелые металлы, некоторые пестициды, промышленные реагенты, радиоактивные вещества). В модели не происходит накопления загрязнителей в окружающей среде — количества, присутствующие в ней в каждый момент времени, всегда равны объему выбросов за один год.

Каждый вид загрязнения с помощью коэффициентов распределяется по трем средам: воздушной, водной, а твердые отходы попадают в литосферу. Совокупные объемы выбросов в стране распределяются географически (22 водных региона, 95 областей воздушного загрязнения). Модель позволяет протестировать результаты различных программ по ограничению выбросов и оценить затраты на них. Долгосрочной динамики по всем трем средам в модели нет: в грунтовых водах не накапливаются токсичные соединения, кислотных дождей не бывает, климат не меняется, эрозия почв не происходит.

Все расчеты по использованию ресурсов и выбросам загрязнителей основаны на межотраслевом балансе, по которому рассчитываются денежные потоки для 185 секторов производства в зависимости от времени. Все расчеты учитывают экономические результаты предшествующего года, но не влияют на виды деятельности в будущем году. Если ресурсы истощаются, экономика все равно пытается их использовать. Затраты на уменьшение выбросов зависят от коли-

чества загрязнений, однако не влияют на производительность труда, инвестиции в расширение капитала, итоговый спрос на промышленную продукцию. В модели используется замещение ресурсов и предполагается совершенствование технологий по уменьшению выбросов, но такие настройки задаются до того, как запускается расчет. Так, алюминий может все больше замещать сталь, но масштабы и скорость замещения никак не связаны с количествами алюминия и стали, ценами на них или оборачиваемостью капитала. Модель позволяет уменьшить загрязнение воздуха за счет использования в автомобилях каталитических дожигателей (можно даже учесть, что производство таких устройств потребует использования большего количества платины), но коэффициент уменьшения выбросов при этом нельзя привязать к текущему уровню загрязнения в городах, а изменение в использовании платины произойдет независимо от того, какое количество этого металла доступно. Более того, снижение выбросов не обязательно связано с увеличением использования платины — два этих внешних предположения совершенно независимы, и лишь от внимательности оператора зависит, будут ли в модель заложены правильные соотношения, не противоречащие миллионам других предположений.

Совершенно другой тип модели представляет собой SAHEL, где все население живет за счет единственного ресурса — крупного рогатого скота. Животные в свою очередь зависят от другого ресурса — кормовых растений Сахельского региона, а они — от питательных веществ в почвах. Все три ресурса в этой цепочке постоянно возобновляются, однако не обязательно с той же скоростью, с какой кочевники их используют. Модель **SAHEL содержит явным образом заданное представление** для каждого ресурса и скорость, с которой он истощается или восстанавливается.

Поголовье скота увеличивается или уменьшается в зависимости от количества родившихся телят, естественной смертности и забоя скота для нужд племени. Если поголовье увеличивается, растет степень использования кормовых растений. Объемы кормов измеряются не в абсолютных единицах, не в килограммах биомассы, а в единицах потенциала производства (количество, которое может быть произведено на 1 га земли за год). В нем учитываются и семена, и корни, и почки, и другие части растений, способные регенерировать, при этом с помощью внешних параметров отражается влияние осадков. Если использование кормовых растений превышает потенциал производства, то он уменьшается (так происходит, когда скот выедает семена и корни, что приводит к истощению кормового ресурса). Если потенциал производства больше, чем скорость использования, то первый показатель растет, пока не достигнет максимальной величины, возможной для данного типа угодий.

Состояние почв также измеряется в единицах потенциального производства (кг на 1 га в год). Пока использование кормов не превышает потенциала производства, состояние почвы улучшается, вплоть до максимума. Если использование чрезмерно, то состояние почвы ухудшается со скоростью, которая возрастает тем сильнее, чем выше степень использования. Низкий потенциал производства почв (недостаточность питательных веществ и плохая структура почв) уменьшает потенциал производства кормов (семян, корней, почек), что ведет к дальнейшему отклонению от равновесия между поеданием кормовых растений и их восстановлением. Так происходит до тех пор, пока скот не перегонят на другие пастбища.

Все то время, пока потребление превышает способность биомассы восстанавливаться, система страдает от эрозии за счет трех механизмов обратной связи, причем у каждого из них скорость своя: уменьшается потенциал почвы по поддержанию роста растений, снижается способность самих растений регенерировать, возрастает смертность скота. Третий показатель может меняться резко, и это означает массовый падеж скота. Тогда эрозия может остановиться, поскольку с системы снимается часть нагрузки. Поведение модели зависит от равновесия между этими тремя циклами обратных связей: если третий ослаблен в результате вмешательства человека (ветеринарная помощь или программы продовольственной поддержки предотвращают гибель животных), то вся система в целом начинает демонстрировать разрушительное поведение. Но негативные последствия этого проявятся лишь спустя десятилетия.

С научной точки зрения все такие построения — гипотеза, и важно это осознавать. Модель достаточно сложна, содержит более или менее весомые показатели, в чем-то дублирующие друг друга подсистемы и другие механизмы, которые, вероятно, можно протестировать.

Модель SOS учитывает связи между экономикой и окружающей средой в обе стороны. В отличие от довольно простой модели SAHEL в системе SOS **экономика представлена подробно. Она промышленно** развита, ресурсы в ней учитываются с высоким уровнем детализации. В нашем обзоре это единственная модель, которая численно оценивает поддерживающую емкость среды для современного индустриального общества. Поддерживающая емкость определяется экологами как численность населения, которое может неограниченно долго существовать в среде с данным уровнем жизни и набором технологий. Разработчики модели SOS попробовали воплотить в своем творении все следствия, вытекающие из такого определения. Приведем примеры.

1. В любой конкретный момент времени поддерживающая емкость системы определяется лимитирующим фактором, накладывающим самые строгие ограничения. Так, если нефти

не хватает, то неважно, какие имеются излишки продовольствия, и наоборот. Внесение дополнительного количества азота в почву не увеличит урожайность, если лимитирующий фактор — нехватка калия.

2. Поддерживающая емкость — величина *динамическая*. Количества различных ресурсов в окружающей среде относительно населения, которое их потребляет, постоянно меняются. Поэтому лимитирующие факторы тоже могут меняться. Ресурс, доступный сегодня в избытке, завтра может оказаться критически важным компонентом, которого не хватает. Относительный избыток продовольствия в сравнении с нефтью может зависеть от капризов погоды; относительный избыток азота в сравнении с калием может зависеть от типа выращиваемой сельскохозяйственной культуры.
3. На изменения в относительной доступности многих ресурсов, определяющих поддерживающую емкость, может накладываться еще и их взаимная зависимость друг от друга, что дополнительно усложняет картину. Нефть необходима для производства продовольствия, а наличие азота в почве может быть химически связано с концентрацией калия. Имеет значение и отклик населения на восприятие относительного избытка (продовольствие и нефть могут частично замещаться за счет изменения баланса между рабочей силой и капиталом; спрос на культуры, для выращивания которых необходим азот, может возрасти, в то время как уменьшится спрос на виды растений, для которых критичен калий, или наоборот).

Несмотря на сложность таких связей, имитация динамического взаимодействия населения и поддерживающей емкости в модели SOS довольно проста. Учитываются 20 различных ресурсов, необходимых для производства. Некоторые из них невозобновимы (например, нефть), их количество постоянно уменьшается по мере того, как экономика расходует запасы, но при этом при более высокой стоимости добычи совокупная величина запасов больше. Другие ресурсы (например, леса), в модели считаются возобновимыми, их запасы ежегодно увеличиваются за счет восстановления, причем скорость может соответствовать объемам потребления, а может и отличаться в ту или другую сторону. Некоторые ресурсы в модели не представлены в виде запасов — например, чистый воздух, пресная вода, — вместо этого учитывается уровень их загрязнения в результате производственной деятельности. Загрязнения могут снижаться за счет программ ограничения выбросов, но и здесь скорости не обязательно обеспечивают равновесие.

В каждом секторе производства используется уравнение, связывающее затраты на сырье с выпуском готовой продукции (расчеты на единицу продукции). Если какого-либо из 20 ресурсов не хватает для желаемого объема производства, то выпуск уменьшается до количества, соответствующего лимитирующему фактору, который задает наиболее строгое ограничение. Затем начинают работать различные механизмы адаптации, которые должны привести экономический спрос и доступность ресурсов к взаимному соответствию. В производственное уравнение может вноситься поправка, чтобы недостающего ресурса требовалось меньше. Могут быть задействованы запасы ресурса, которые раньше не использовались из-за высокой цены. Если есть возможность, то применяется вторичное сырье. Спрос населения на продукцию может уменьшаться, если начинается эмиграция или увеличивается смертность. Все эти процессы занимают какое-то время и требуют финансовых вливаний — ничто не может произойти мгновенно и без затрат.

С одной стороны, адаптационный механизм за счет обратных связей, заложенный в модель, по своей сути достаточно прост, а с другой — его реализация требует набора детально прописанных предположений. Для каждого сектора производства нужно задать не только начальные условия (требования к сырью и затратам), но и указать возможные варианты, включая замещение ресурса другими, до какой степени возможна такая замена, какие сочетания при этом допустимы. Для каждого ресурса оператор должен задать полный список параметров: какое количество доступно, по какой цене, с какой скоростью ресурс возобновляется в природе, до какой степени можно использовать вторичную переработку. Для общества в целом необходимо задать предпочтительную функцию для механизмов адаптации — до какого предела будет использоваться замещение, в какой момент начинаются попытки переработать вторсырье, какие расходы придется понести, прежде чем снизится спрос, до какого предела нужно следовать целям производства, если они влекут за собой увеличение выбросов, и т. д.

С учетом подобных требований к начальным данным, нет ничего удивительного в том, что разработчики модели **SOS упростили взаимосвязи** в системе, насколько смогли. Между затратами и выпуском все зависимости линейны, между степенью адаптации и затратами на нее — тоже, хотя достоверно известно, что в реальной жизни эти взаимосвязи имеют нелинейный характер[15]. Они также исключили из рассмотрения зависимости между ресурсами — например, связь между скоростью возобновления рыбных ресурсов или лесов и чистотой воды и воздуха, или необходимость затрачивать энергию на обогащение и переработку руд. Многие виды ресурсов и загрязнений в модель просто не вошли.

3. Выводы и комментарии

Несмотря на то что в системе SOS много упрощений, она все равно остается самой полной и проработанной из девяти моделей в описании ресурсов — области, где ни одну из разработок исчерпывающей назвать нельзя. Хотя использование удобрений в сельском хозяйстве предусмотрено в пяти моделях, при этом учитывается только увеличение урожайности, никаких других эффектов от их применения нет. Между тем удобрения на планете ежегодно вносятся в почву миллионами тонн. И все равно ни одна из моделей не задается вопросом о том, откуда они взялись и куда затем поступают. Все девять систем не считают энергию составляющей производства, с принципиально иными свойствами, чем у других видов ресурсов, производственного капитала или денежных средств. Не учитываются увеличение количества твердых отходов, затраты на их переработку или захоронение. Никто не отслеживает попадание органических питательных веществ из почвы в стоки и водоемы. Лишь одна модель упоминает эрозию почв. Только в двух системах залежи руды и нефти могут истощаться. Всего две модели из девяти приближаются к тому, чтобы признать основополагающий принцип мироздания — закон сохранения энергии и массы. Ни энергия, ни масса не могут браться из ниоткуда и исчезать в никуда, но именно так происходит во многих моделях.

Поверхностному описанию окружающей среды в моделях можно придумать только три оправдания. Первое состоит в том, что для поставленных целей более глубокое изложение не нужно. В нашем списке таких моделей только две: **MexicoV и CHAC. Их цели и ограниченный** временной диапазон действительно не требуют учитывать ресурсы и экологическое обслуживание, предоставляемое средой.

В качестве второго оправдания можно сказать, что разработчики настолько старались сделать модели простыми и прозрачными, что намеренно выбрали откровенно грубое отображение окружающей среды, чтобы в их моделях было проще разобраться. Такое объяснение приложимо к системе TEMPO, но на практике самые простые представления о природной среде обнаруживаются в самых сложных моделях — BACHUE, KASM и CHAC, в то время как разработки, предназначенные для общего понимания, которым полагалось быть самыми простыми (SOS и SAHEL), на самом деле дальше всех продвинулись в описании природных систем.

Третья причина для исключения окружающей среды из социально-экономических моделей — самый слабый, но по-человечески понятный аргумент об отсутствии теорий или данных о природных системах. Нельзя включить в модель то, о чем исследователь не имеет представления. Но на сегодняшний день информации об окружающей среде довольно много. Она неидеальна, носит в основном эмпирический ха-

рактер... И все же она гораздо подробнее и точнее того, что известно о социальных системах. В экологии, гидрологии, геохимии и агрономии накоплены огромные объемы знаний, пересекающихся с экономической деятельностью, причем бóльшая их часть оценена численно и даже обработана с помощью вычислительной техники[16]. Отсутствие гармонии между экологическими и социально-экономическими предположениями в моделях нужно объяснять не нехваткой знаний в этих областях, а какими-то другими причинами.

К списку оправданий для недостаточно подробного представления окружающей среды в моделях мы могли бы добавить другой, собрав в него непростительные упущения. Но в защиту разработчиков можно привести еще один аргумент: усложнение мысленных моделей о природных системах также имеет свои пределы, и до самого недавнего времени представления об истощимости ресурсов и экологическом обслуживании практически не появлялись (или даже отвергались) на государственном уровне. Некоторые из рассмотренных компьютерных систем, без сомнения, превзошли уровень мысленных моделей и позволили отслеживать одновременно несколько ограничений окружающей среды (KASM, CHAC), попытались подробно учесть влияние природных факторов на современную экономику (RfF, SOS), продвинулись в оценке долговременных последствий текущих действий для экологической устойчивости и самоподдержания (SAHEL).

13.6. Заключение

В табл. 13.1 приводятся самые важные гипотезы об индустриализации в том виде, как они изложены в моделях из нашего списка. Мы также приводим основные выводы и заключения, вытекающие из этих предположений.

Прежде чем обсудить полезность и научную ценность девяти разных представлений об индустриализации, нужно сказать несколько важных слов об особенностях самой таблицы. В ней содержатся только *наши* обобщенные представления о предположениях моделей — так, как мы их поняли, сумели соотнести со своими мысленными моделями и описать в книге. Это изложение не претендует на идеальную точность. Мы зафиксировали в основном те черты моделей, которые либо соответствовали нашей собственной парадигме, либо сильно от нее отличались. Разработчики моделей, возможно, выбрали бы другие аспекты, и, уж конечно, описали бы их подробнее и точнее. Кроме того, нужно учитывать, что создатели моделей, без сомнения, по ходу работы узнали гораздо больше, чем изложили в документации, и, разумеется, больше, чем удалось из нее почерпнуть нам. Общие выводы проще делать по долгосрочным и более прозрачным моделям, таким как SAHEL

или TEMPO, чем по краткосрочным и более детальным системам вроде KASM и CHAC. Мы могли нечаянно исказить цели сложных моделей, когда пытались разобраться в них, поскольку в первую очередь эти системы предназначались для конкретных условий, с определенными параметрами, а не для общей оценки тенденций.

Но каким бы ограниченным ни был список в табл. 13.1, это честная подборка представлений об индустриализации, которыми разработчики девяти моделей смогли поделиться с двумя искренне заинтересованными коллегами. Поэтому мы затрагиваем и научное значение систем.

Парадигмы, на которых основаны модели, очень отличаются друг от друга, поэтому модели описывают разные аспекты окружающего мира. Сравнивать между собой можно только те, которые основаны на родственных предположениях. Например, можно сопоставлять друг с другом модели **TEMPO, LTSM и BACHUE, допустимо проводить** аналогии между системами SAHEL и SOS. Остальные модели стоят особняком. Вероятно, по этой причине разработчики практически не пытались оценить свои теории с точки зрения других, как формализуемых математическими средствами, так и нет. Только Мартос и Бельтран дель Рио всерьез обсуждали возможность иначе взглянуть на мир, представленный в их моделях. Другие разработчики предлагали свои представления вообще без оглядки на другие существующие научные теории.

Но несмотря на разнообразие и несопоставимость моделей, диапазон гипотез, на которых они основаны, на самом деле довольно узок. За некоторыми исключениями, все они полагают, что индустриализация должна произойти везде; таким же путем, каким она шла в странах Запада; важные программы должны вестись на национальном уровне; контролировать их должны правительства стран; ключевые параметры системы должны оцениваться в денежном выражении. Реализация государственной политики в основном представляется как внешний план либо разовое мероприятие, а не постоянные усилия или непрерывный процесс, входящий в систему как составная часть. Модели оперируют конкретными физическими или денежными показателями, характеризующими промышленно развивающееся общество, и не берут в расчет информацию, идеи, цели, мотивы, стимулы, власть, институты и организации, притеснение и субъективное восприятие.

В моделях практически не прослеживается применение теории информации или каких-либо научных дисциплин, помимо экономики и демографии. Удивительно, но ни системная теория, ни кибернетика не применялись, как не было и других попыток связать системное поведение со структурными предположениями. Общие заключения сформулированы не благодаря усилиям разработчиков, а скорее вопреки им. Переменные, категории и способы опи-

сания систем традиционны и хорошо знакомы, они всецело сформированы мышлением в рамках соответствующей области знаний, а не подбираются исходя из целей каждой модели, как это следовало бы делать. У тех, кто изучает эти модели, создается впечатление, что социально-экономическая деятельность человека действительно жестко делится на традиционные, фиксированные, отдельные категории (производство, инвестиции, потребление — занятость, распределение рабочей силы, производительность труда — предельный доход относительно рабочей силы, капитала, технологии). Налицо явный недостаток творческого подхода и попытка использовать старые, проверенные, знакомые средства. А ведь на самом деле человеческая деятельность чрезвычайно разнообразна! Она видоизменяется, расширяется, живет своей жизнью, представляет собой сложное целое, которое можно подразделять на составляющие самыми разными способами, в зависимости от того, с какой точки зрения вы хотите взглянуть на систему. И девять моделей, описанных в нашем обзоре, уже привели к появлению новых идей и продемонстрировали впечатляющее количество взаимных связей между частями системы. Результаты удивляют и заставляют задуматься... Основные из них сведены в табл. 13.1.

Таблица 13.1

Основные гипотезы	Основные заключения
SAHEL	
Экономика и решения по воспроизводству неразрывно связаны с ресурсной базой — на ней основана вся деятельность человека. Решения людей определяются материальной заинтересованностью, культурными ценностями и краткосрочной информацией об ограничениях ресурсной базы	Недостаток информации о состоянии ресурсной базы в долгосрочной перспективе приводит к нестабильности и даже разрушению системы. Программы, направленные на то, чтобы оказать помощь, могут только ухудшить ситуацию, поскольку из-за них решения отдельных людей делают систему еще более нестабильной
RfF	
Выбросы в окружающую среду и потребление ресурсов промышленной экономикой линейно зависят от денежного выражения продукта, создаваемого ею. Оно в свою очередь зависит от экономического спроса, который создается выпуском продукции за прошлый период, с учетом изменений в численности населения и составе семьи	Экономический рост в индустриально развитом обществе накладывает на ресурсную базу бóльшую нагрузку, чем рост численности населения. Ограничение роста численности населения может помочь в сохранении ресурсов, однако этому будет частично противостоять увеличение душевого дохода, а значит, и потребления ресурсов

Продолжение табл. 13.1

Основные гипотезы	Основные заключения
SOS	
Растущая промышленная система имеет многочисленные материальные цели, которые иерархически упорядочены. Если цель не достигнута, включаются многочисленные механизмы приспособления и адаптации, как технологического плана, так и социальные. Адаптация занимает время, требует затрат и имеет определенные пределы	Из-за запаздываний, затрат и ограничений адаптивных структур промышленная система не может плавно, по оптимальной траектории приближаться к своим целям. Долгосрочное планирование и ограничение потребления материальных ресурсов делают поведение системы лучше
TEMPO	
Выпуск экономической продукции распределяется по двум направлениям — на инвестирование и потребление. Растущая численность населения смещает распределение в сторону потребления	Быстрое увеличение численности населения может ограничивать скорость экономического роста. Вложения в программы планирования семьи позволят положительно повлиять на уровень материального благосостояния, и это влияние сильнее, чем у инвестиций в экономику
LTSM	
Те же основные предположения, что и в модели TEMPO, но к ним добавляется обратная связь от быстрого экономического роста к ограничению роста численности населения. Также в систему включены принципиальные предположения о возможности увеличения урожайности в сельском хозяйстве	Инвестиции в сельское хозяйство могут даже больше повлиять на повышение уровня жизни и занятость, чем вложения в промышленность. До определенной степени это компромисс между стремлением расширить промышленный выпуск, увеличить производство сельскохозяйственной продукции, уменьшить безработицу и замедлить рост численности населения. Отдельные программы, преследующие одиночные цели, могут влиять на возможность достижения других целей
BACHUE	
Обобщенное поведение общества — совокупность отдельных откликов различных слоев населения на текущую экономическую обстановку. Фертильность, миграция, занятость, производительность труда — все эти параметры зависят от уровня образования, доходов и возможностей, доступных различным классам	Нищета, безработица и неравенство в распределении доходов — проблемы, с которыми справиться очень трудно. Они решаются только в том случае, если на протяжении долгого времени предпринимать постоянные и целенаправленные усилия. Программы, направленные на помощь отдельным экономическим или географическим секторам, на самом деле могут положительно повлиять и на другие сферы за счет перенаправления миграционных потоков или работников

Окончание табл. 13.1

Основные гипотезы	Основные заключения
KASM	
Экономика аграрного сектора в основном зависит от внешних параметров: роста численности населения и распределения, расценок на факторы промышленного производства, государственных программ и новых технологических достижений. Фермеры принимают решения о посеве тех или иных культур и распределении ресурсов по алгоритму оптимизации. Новые технологии распространяются постепенно, в соответствии с S-образной кривой. Рыночные принципы — преимущественно свободные	Активная политика государства и новые технологии позволяют увеличить производство сельскохозяйственной продукции и сгладить скачки потребительских цен. Однако правильная политика, нацеленная на конкретный результат, обычно неочевидна и может иметь неожиданные побочные эффекты
MexicoV	
Макроэкономика в этой модели четко представлена годичными наборами финансовых потоков различных типов. Считается, что связи между ними в ближайшем будущем останутся точно такими же, как были в прошлом. На выпуск продукции влияет в основном экономический спрос	Экономическая система Мексики ведет себя не как полностью свободный рынок и не как чисто марксистская модель. Ключевые макроэкономические программы могут улучшить положение дел с общим экономическим ростом, однако только за счет увеличения национального долга и инфляции. Централизованным программам практически не удается повлиять на нищету в сельских районах и слишком быструю урбанизацию
CHAC	
Рыночные цены, предложение и спрос определяются одновременно, чтобы совокупность выгод потребителей и производителей была максимальна. Фермеры принимают решение на основе оптимизации, нацеленной на минимальный риск. Сельскохозяйственная экономика практически не зависит от промышленной	Сезонная безработица в сельском хозяйстве гораздо выше, чем могут показать сводные данные. Бороться с ней очень тяжело. Наибольший эффект дают вложения в сельскохозяйственный капитал и в наиболее урожайные посевные культуры, что позволяет увеличить экспорт. Однако программы правительственной помощи и рыночные институты обычно не склонны выбирать такие решения

Все приведенные заключения, с нашей точки зрения, полезны, информативны и основаны на честных представлениях. Лишь про часть из них можно сказать, что они получили широкое признание и постоянно используются как основа для принятия решений. Во многих случаях приходится признавать неточность описания и даже невозможность определенного развития событий. Система может быть настолько сложна, что ведет себя непредсказуемо. Причины ее поведения заложены в самой структуре, ее нельзя быстро изменить или подстроить под конкретные потребности. Очень сложно разработать планы и программы, которые позволили бы достичь всех целей одновременно.

Принципиальные заключения возникли не на основе принятых показателей и параметров — численности населения, производства и т. п. Скорее, их удалось сформулировать благодаря предположениям о том, *как* каждый из показателей связан со всеми остальными. Такие заключения — целостное представление о системе. Они отличаются от обычной картины, которая рисуется при изучении любой части модели в отдельности. Рассмотренные системы иллюстрируют потенциал моделирования как метода, который направляет внимание на взаимосвязи в сложных системах, на их значение и важность для системы в целом.

Ссылки на источники

1 Вот некоторые примеры литературы: *Nam C.B.*, *Gustavus S.O.* Population: The Dynamics of Demographic Change. Boston: Houghton Mifflin Company, 1976; *Thomlinson R.* Population Dynamics. New York: Random House, 1976.

2 См., например, статью: *Fredericksen H.* Feedbacks in Economic and Demographic transition // Science. 1969. 166. С. 837; *Heer D.M.*, *Smith D.O.* Demography. 1968. 5. С. 104.

3 *Meadows D.H.* Population Sector: часть коллективной работы: *Meadows D.L.*, *Behrens W.W.*, *Meadows D.H.*, *Naill R.F.*, *Randers J.*, *Zahn E.K.O.* Dynamics of Growth in a Finite World. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1974.

4 См. раздел, посвященный Венгрии, в работе автора: *Klinger A.* Population Policy in Developed Countries. New York: McGraw-Hill, 1974. Интересные данные по ситуации в Сингапуре приведены в издании: Coevolution Quarterly. Fall 1983.

5 *Domar E.D.*, по источнику: *Rao P.*, *Miller R.L.* Applied Econometrics. Belmont, Calif.: Wadsworth Publishing Co., 1971. С. 41.

6 *Schumacher E.F.* Small is Beautiful. New York: Harper & Row, 1973. С. 159.

7 См., например, книгу: *Mass N.J.* Stock and Flow Variables and the Dynamics of Supply and Demand // *Randers J.* (ред.). Elements of the System Dynamics Method. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1980.

[8] *Rodgers G.B., Hopkins M.J.D., Wéry R.* Economic Demographic Modeling for Development Planning: BACHUE-Philippines // Population and Employment Working Paper No. 45, International Labor Organization, Geneva, 1976. C. IV-2.

[9] *Miliendorfer H., Gaspari C.* Immaterielle und Materielle Faktoren der Entwicklung: Ansatze auf einer Allgemeinen Produktionsfunktion // Zeitschrift fur Nat. Okonomie. 1971. 31. C. 81—120.

[10] Ранее упомянутый источник: *Schumacher E.F.*

[11] Очень показательная сводная информация по теориям миграции содержится в работе: *Bogue D.L.* Principles of Demography. New York: John Wiley and Sons, 1969. C. 752—283.

[12] *Forrester J.W.* Urban Dynamics. Cambridge, Mass.: Wright-Allen Press, 1969.

[13] *Beltran del Rio A.* A Macroeconometric Forecasting Model for Mexico: Specification and Simulations. Ann Arbor: University Microfilms, 1973. C. 359—360.

[14] Общие различия между историческими вариантами урбанизации и современными процессами в развивающихся странах приведены в статье: *Davis K.* The Urbanization of the Human Population // Scientific American. 1965. Сентябрь.

[15] Неопубликованная рукопись: *House, Williams.*

[16] Можно взять любой профессиональный журнал по экологии или посмотреть, например, работы: *Hall C.A.S., Day J.W.* (ред.). Ecosystem Modeling in Theory and Practice. New York: John Wiley & Sons, 1977; *Daetz D., Pantell R.H.* (ред.). Environmental Modeling. Stroudsburg; Pa.: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., 1974; *Russel C.S.* (ред.). Ecological Modeling. Washington, D. C.: Resources for the Future, Inc., Working Paper QE–1, 1975.

14
ГЛАВА

Качество моделирования: преимущества компьютерных моделей

К этому моменту мы уже изучили *содержание* девяти моделей: на каких гипотезах они построены, что позволяют узнать о принципиально разных аспектах индустриализации — населении и производстве. Мы познакомились с интересными и нестандартными предположениями и попытками использовать компьютер для их сопоставления с фактическими данными. Однако в первую очередь мы увидели, что модели построены на знакомых и довольно простых идеях, которые мало чем отличаются от мысленных моделей. Главное, что позволяют увидеть модели, — *связи* между понятиями, результаты их *влияния* друг на друга и на другие параметры. Возможно, это делает понятнее, какие составляющие социальных систем изучены хорошо, а какие пока не очень.

Никто и никогда не говорил, что компьютер — источник принципиально новых знаний, или что разработчики моделей — революционеры от науки или ниспровергатели общественных устоев. Все, что закладывается в компьютерную модель, в любом случае берет начало в мысленных моделях. Вместо того чтобы детально разбирать составные части девяти компьютерных моделей и искать в них что-то новое, лучше посмотреть, как они описывают процессы, каким образом закладывают в модели старые идеи, как описывают результаты и проводят тестирование. Если компьютерная модель хотя бы в четкой форме отображает мысленные модели и делает их более явными и полными, это уже очень большое подспорье для общественного обсуждения и государственного управления.

Мы рассмотрим всего пять основных преимуществ, которые свойственны компьютерным моделям (они уже однажды были перечислены): строгость, полнота, внутренняя логика (непротиворечивость), понятность, проверяемость. В какой степени нашим моделям присущи эти свойства? Превосходят ли они или дополняют мысленные модели по этим параметрам?

14.1. Строгость

Первое потенциальное преимущество компьютерных моделей перед мысленными, по нашему мнению, состоит в том, что *компьютерная модель обязана быть строгой, организованной, упорядоченной*. Компьютеры ошибок не прощают, и это всем известно. Прежде чем будет получен результат, все компоненты модели должны быть четко определены. Никакой элемент нельзя описывать двусмысленно, каждое правило вычисления должно быть задано в явном виде. Любая ошибка, даже если это простая опечатка, может либо привести к отказу системы, либо дать абсурдный результат, вроде отрицательной численности населения или скорости роста капитала в 10 000% в год. Каждую из описанных девяти моделей успешно запускали на выполнение на вычислительных мощностях, которые соответствуют всем требованиям к компьютерной технике, т. е. все технические требования заведомо были выполнены. И полученные точные, внутренне непротиворечивые результаты о состоянии общества, без сомнения, имеют больший вес, чем мысленные модели, для которых характерны неточность и смутность.

Компьютерные модели по определению превосходят мысленные в строгости и содержательности. Мысленная модель не имеет внутренней защиты от невыполнимых условий. Например, она может запланировать использование 150% имеющихся земельных территорий или объемы нефти, втрое превышающие суммарные запасы на Земле. В компьютерных моделях такого не произойдет, потому что в линейном программировании все ограничения прописываются в начальной части кода. Даже если разработчик помнит, что для производства большего количества удобрений нужно больше химических заводов, больше нефти, больше транспорта для ее доставки, больше нефтехимических производств, больше стали и т. д., он все равно не в состоянии держать в уме, *насколько* больше всего этого нужно — человеческий мозг не может сам обработать матрицу «затраты-выпуск» и провести необходимые расчеты. Присущие многим парадигмам моделирования методы и математический аппарат приводят к тому, что многие требования внутренней непротиворечивости соблюдаются в компьютерных моделях автоматически, причем они вполне корректно отражают ключевые черты реального мира, определяющие поведение социальной системы.

Описанные в нашем обзоре разработки прекрасно иллюстрируют вклад компьютерных моделей в упорядочивание информации, важной для понимания социальных систем. Разработчики **KASM, собирая** данные по Корее, сразу обнаружили, что сбор данных и формирование отчетов в стране организованы неправильно, а ведь местные и международные статистические агентства этого не замечали годами.

Та же группа специалистов сделала серию демографических прогнозов, превосходивших по качеству все, что были сделано ранее. На самом деле, практически все модели, вошедшие в обзор, содержат подробные и очень полезные демографические подсистемы. Компьютеру совсем несложно запомнить, сколько 9-летних жителей было в стране в прошлом году, и автоматически перевести их в разряд 10-летних в году текущем, за вычетом умерших и эмигрировавших. А вот мысленная модель никогда не сможет оперировать восьмидесятью возрастными категориями одновременно...

Другой пример строгости и внутреннего соответствия — модель CHAC, с ее 2348 аграрными методами, которые мексиканские фермеры могут применять в различных сочетаниях. При этом рассчитывается, сколько будет задействовано земель, какая потребуется рабочая сила, сколько воды, удобрений и сельскохозяйственной техники будет нужно, и гарантируется, что суммарные количества не превысят имеющиеся ресурсы Мексики. Модель SAHEL, созданная Пикарди, также содержит внутреннюю проверку состоятельности. Она не позволяет поголовью скота расти быстрее, чем это позволяет природа, не дает стадам увеличиваться больше, чем это возможно на имеющихся пастбищах, уменьшает поддерживающую емкость угодий, если начинается деградация почв, и т. д. Аналогичным образом модель RfF проверяет, чтобы взаимосвязанные факторы не были упущены из рассмотрения. Медленный рост численности населения снижает запросы по ресурсам, поскольку потребителей не так много, однако этому эффекту может противодействовать возросшее душевое (а следовательно, и суммарное) потребление, если уровень доходов стал выше.

Но при этом всегда нужно помнить, что строгость, упорядоченность и точность могут быть обманчивы. Любой программист знает, что компьютер позволяет рассчитывать значения до какого угодно знака после запятой, хоть шестого, хоть двенадцатого, но это вовсе не свидетельствует о том, что работа системы действительно описывается с такой точностью. Перед таким искушением очень сложно устоять, и тогда на сцене появляются псевдонаучные результаты. Бельтран дель Рио, например, прекрасно осведомлен об этой проблеме, но все равно применяет изощренные методы статистической обработки и использует уравнения вида:

$$\text{Уровень занятости в городе} = 0{,}68591 - 0{,}12852\,(\text{потенциальная производительность труда в городе}) + 0{,}00301\,(\text{свободные производственные мощности в городе})$$

К его чести надо сказать, что результаты расчетов все-таки не берутся с точностью до шестой значащей цифры — выводы Бельтран дель Рио делает исключительно качественные.

Кажущаяся точность данных, закладываемых в модель (хотя на самом деле она не нужна и на результатах не отражается), к сожалению, стала скорее правилом, чем исключением. Именно так обстоят дела в моделях RfF, LTSM и BACHUE, и до определенной степени та же тенденция прослеживается в моделях **KASM, MexicoV и CHAC. Их заключения** сформулированы преимущественно в качественном виде, содержат множество условий и оговорок, и в таких случаях точные численные значения серьезно не воспринимаются. Но все равно разработчики продолжают тратить силы на то, чтобы определить вводные параметры максимально точно. Порой даже точнее, чем это возможно в принципе...

Чрезмерное стремление к точности — не только напрасная трата времени. Оно может привести к негативным последствиям. Кажущаяся точность маскирует недостаток знаний, на которых построена модель. Начав с набора догадок о росте численности населения на 50 лет вперед, об экономическом росте и техническом прогрессе, разработчики модели RfF затем используют матрицу 185 × 185, содержащую неточные и неподтвержденные коэффициенты, и в результате получают подробную, внутренне непротиворечивую, *предельно точную* картину будущего состояния экономики. Не удивительно ли? Изобилие деталей отвлекает внимание от того, что сама структура модели зависит от нестрогих, неточных мысленных положений, на которых построены начальные внешние прогнозы.

В моделях, вошедших в наш обзор, подобное отклонение от настоящей строгости встречается очень часто; во многих случаях подробное, упорядоченное и точное представление одних факторов сопровождается предельным упрощением и догадками в других аспектах. В модели KASM **предусмотрено 180 групп населения и 19 видов сельскохозяйственной** продукции, но нет обратной связи от количества продовольствия к уровню смертности, от условий жизни в городе к масштабам миграции, от степени индустриализации к рождаемости. Система RfF отслеживает межотраслевые потоки по 185 секторам экономики, но никак не изменяет их при истощении ресурсов. Модель BACHUE распределяет продукцию 13 экономических секторов по более чем 40 группам, однако полагается на мысленные модели, чтобы оценить будущие инвестиции. Структура CHAC включает в себя чрезвычайно сложное и подробное описание фермерской деятельности, связанной с посевами, но при этом опирается на предельно упрощенное представление об идеальной конкуренции, абсолютной доступности информации и рыночном равновесии в масштабах всего общества. Заказчики моделей и сами разработчики часто не могут устоять перед искушением и принимают результаты моделирования и красивые графики за истину в последней инстанции, напрочь забывая о том, что в основе систем лежали противоречивые теории и смутные догадки.

Если бы стремление к точности не имело иных последствий, кроме потери времени, с этим еще можно было бы смириться. Если бы это оборачивалось только введением в заблуждение заказчиков, такую тенденцию удалось бы перебороть, приучая заказчиков не верить на слово и воспитывая в них долю здравого скептицизма. Но проблема с кажущейся точностью имеет более тяжелые последствия, которые мешают моделированию привносить в социальную науку новые знания. Стремление к внешней строгости приводит к тому, что в работе используются статистические данные, собранные официальными источниками, и никто не проверяет их правильность. При этом другие источники информации, менее точные, но более подходящие для конкретного исследования, описывающие, как работает система, из виду упускаются. Разработчику не составит труда найти подробные данные по половозрастной структуре населения — они есть в результатах переписей. И он разбивает их на 180 групп по полу и возрасту, потому что данные позволяют это сделать. Тратит массу времени, хотя для исходной цели модели это не нужно. Цель модели *может* потребовать отображения в долговременной перспективе фертильности и смертности населения в ответ на экономические и экологические изменения, однако таких данных разработчик явно не найдет, в особенности для 180 половозрастных групп. Коллеги из сферы моделирования восприимут в штыки любую гипотезу, если она не подкреплена статистическими данными, поэтому разработчики часто оставляют важные факторы вообще за пределами модели или делают их внешними.

Все, что мы сказали, не следует воспринимать так, будто мы не считаем строгость основным преимуществом моделирования. Мы верим, что она действительно представляет собой одно из главных преимуществ, однако зависит в первую очередь от мысленных моделей самого разработчика. Мы обнаружили, что если сесть и детально расписать, что именно мы считаем в системе точно установленным и внутренне непротиворечивым, то у такого упражнения будет два удивительных следствия. Во-первых, это в очень большой степени проясняет мышление — можно сказать, «прочищает мозг». Во-вторых, доходчиво показывает, насколько мало на самом деле мы знаем. Всем, кто принимает решения, было бы очень полезно выполнять время от времени такое упражнение.

Одновременно мы обнаружили, что ясность мышления и реальное представление о собственных знаниях очень трудно передать или привить другим. Понимание важности строгого изложения распространено только в среде разработчиков — людей, и без того склонных к упорядоченному мышлению. А про обучение этому других, к сожалению, можно сказать только одно: разработчики моделей очень далеки от того, чтобы придать точность политическим процессам и сделать ясным принятие решений. Как заметил один из критиков моделирования,

к сожалению, нет никакой гарантии, что занятие моделированием повышает уровень развития хотя бы самого разработчика моделей[1].

Подытоживая тему строгости, можно сказать, что компьютерные модели действительно способствуют большей четкости, упорядоченности и точности, чем это характерно для мысленных моделей. Однако часто видимая строгость — всего лишь результат точных вычислений на основе неточных мысленных моделей. При этом практически всегда стремление к наукообразной точности приводит к неправильной расстановке акцентов в работе — важные аспекты реальных социальных систем упускаются из рассмотрения.

14.2. Полнота

Компьютерные модели могут охватить и обработать гораздо больше информации, чем любые мысленные построения. В одной компьютерной модели могут содержаться несколько мысленных, из разных областей знаний, поэтому они обеспечивают более широкий взгляд на мир.

Любые компьютерные системы, даже самые простые, отслеживают такое количество параметров, какое человеческий мозг удержать не в состоянии. Некоторые из моделей в нашем обзоре представляли собой объединенные проекты, над которыми работали команды ученых из разных областей, с разными взглядами на различные аспекты социальных систем. Оформленная по всем правилам модель вполне может служить «точкой стыковки» в междисциплинарном обмене информацией. Систему KASM делали профессиональные экономисты в области сельского хозяйства, макроэкономисты, демографы и агрономы как из Кореи, так и из США. Модель CHAC создавали команды из Мексики и США, а в работе над проектами BACHUE и LTSM участвовали специалисты из самых разных стран и разных научных областей. Модели SAHEL, BACHUE и SOS тоже не ограничивались рамками одной дисциплины, а попытались предоставить целостное, систематическое описание замкнутых систем. Фактически они разработали новую теорию и новый метод учета. Даже в моделях KASM и BACHUE сочетается несколько разных парадигм моделирования.

Большинство моделей представляют и экономику, и демографию, что вряд ли можно одновременно сочетать в одной мысленной модели. Две модели отражают последствия различных сценариев роста численности населения для экономики (TEMPO и RfF). Четыре другие делают следующий шаг и замыкают экономико-демографические зависимости в петлю обратной связи, учитывая влияние экономических изменений на скорость роста численности (SAHEL, SOS, LTSM и BACHUE). Хотя теории, на которых основано замыкание петли обратной связи, по своей сути предельно просты, любая попытка одно-

временно учесть оба влияния представляет собой большой шаг вперед в понимании экономического развития. Политическая полемика слишком часто ограничивается только одной стороной обратной связи между экономикой и демографией (либо «если бы у них было меньше детей, жизнь стала бы лучше», либо «если бы жизнь была лучше, они имели бы меньше детей»). В этом отношении компьютерные модели определенно полнее, чем большинство мысленных представлений.

Компьютеры обладают огромными, но не безграничными возможностями по хранению и обработке информации. Точно так же есть предел у мыслительной способности тех, кто создает программы, проверяет их и интерпретирует полученные результаты, — их возможности ограничены еще сильнее. Разработчики по вполне понятным причинам стремятся к математической простоте — в некоторых случаях это оправданно, в некоторых других уводит в сторону и лишает систему полноты. Большинство из нас интуитивно представляет себе связи в социальных системах как распределенные, нелинейные, имеющие запаздывание, способные резко прерываться. Между тем в девяти моделях связи преимущественно линейные, мгновенно подстраивающиеся и непрерывные (особенно это касается моделей RfF, MexicoV, CHAC и частично BACHUE и KASM).

Сверхпростота нужна далеко не всегда — многие математические инструменты вполне позволяют работать с нелинейностями или дискретными функциями. Но если модель должна обеспечить наибольшую подробность, то чем проще будут уравнения, тем удобнее для вычислений. Линейные матрицы можно обратить независимо от их размеров; линейные ограничения оптимизировать гораздо проще, чем нелинейные. Так математическое удобство заставляет идти на компромисс между *полнотой* (включением максимального количества знаний из мысленных моделей) и *сложностью* (разбиением модели на большое количество категорий по населению, продукции, ресурсам). К сожалению, для того, чтобы обеспечить сложность, разработчики часто жертвуют полнотой.

Мозг любого человека наполнен массой информации о том, как люди принимают решения и как ограничения, цели, ожидания, страхи, надежды, склонности, симпатии и антипатии влияют на работу социальной системы. Однако очень малая толика этой информации оказывается учтенной в компьютерной модели. Из девяти рассмотренных только системы SAHEL, SOS и BACHUE попытались отобразить плавно протекающие социальные процессы. Разработчики BACHUE оставили подобные попытки, когда столкнулись с нехваткой данных. Создатели SAHEL и SOS утратили бóльшую часть доверия, поскольку продолжили работу без опоры на данные.

В итоге получается, что компьютерные модели нельзя считать по-настоящему полными. Они старательно обходят те аспекты социаль-

ных систем, про которые в базах данных нет информации, хотя точно известно, что они чрезвычайно важны.

Подводя итог, можно сказать, что в каком-то смысле компьютерные модели сложнее и подробнее, чем мысленные, но при этом они редко оказываются полными и всеобъемлющими. Качественные, мотивационные факторы из рассмотрения упускаются, равно как и те физические факторы, для которых накоплено недостаточно данных (загрязнения, эрозия, энергия, производство продукции в частных домохозяйствах). Теории, лежащие в основе моделей, несложны, и отдельные взаимосвязи часто упрощены ради удобства математической обработки. Хотя в компьютерных моделях можно объединить и учесть гораздо больше параметров, чем в мысленных, тем не менее математические и научные соображения часто ограничивают такие возможности.

14.3. Внутренняя логика

Компьютерные модели способны делать безошибочные заключения из заданных предположений — свойство, не присущее мысленным моделям, особенно когда предположений много. Пожалуй, единственный абсолютно точный способ подтвердить это применительно к девяти моделям из нашего списка — проверить каждое уравнение и выполнить многочисленные тестовые прогоны. Лишь четыре группы разработчиков из девяти опубликовали уравнения в документации, при этом еще для четырех, вероятно, можно было бы получить распечатку программного кода. Но если в программе 80 000 параметров или 1500 основных уравнений, проверить их все невозможно. Вероятность того, что в столь громоздких программах где-то из-за опечатки переместился десятичный разделитель, изменилась значащая цифра или нечаянно числитель поменялся местами со знаменателем, очень велика. При этом вероятность обнаружить такую ошибку стремится к нулю... Из всех рассмотренных моделей, пожалуй, только **TEMPO и SAHEL достаточно прозрачны и интуитивно** понятны, чтобы их можно было проверить на наличие подобных ошибок.

Проблема опечаток осложняется еще и изобретательностью разработчиков, с которой они трактуют результаты. Мы сами столкнулись с такой ситуацией, когда работали с относительно небольшой моделью, содержащей порядка 200 уравнений. Несколько месяцев никто из нас не замечал, что в одном месте десятичная точка стояла не там, где надо. Модель показывала неустойчивое поведение, которое, правда, не повлияло на общие выводы (в этом нам просто повезло), но было четко заметно на результирующих графиках. Мы без всякой задней

мысли отнесли такое поведение на счет конкретного сочетания факторов, и объяснения звучали очень правдоподобно. Опечатка обнаружилась только тогда, когда нам указали на нее со стороны, — сами мы и не подозревали о ее существовании[2].

Этот пример показывает, как сложно находить простые ошибки, опечатки, последствия неверного *перевода* словесных предположений на математический язык программного кода. Но ведь могут быть еще и ошибки в *интерпретации* результатов. Компьютер не делает обобщенных заключений — он выдает массу численных результатов, распечатки в десятки сантиметров толщиной, а обрабатывают, упорядочивают, сравнивают и оценивают их люди, которым, как известно, свойственно ошибаться. Ведь наши мысленные модели грешат неточностью, нелогичностью, предубеждениями.

В девяти моделях вполне могут содержаться ошибки интерпретации, которые мы не заметили просто потому, что наши собственные мысленные модели оказались такими же, как у разработчиков. Одну ошибку мы точно отследили потому, что наши предпочтения разошлись со склонностями создателей модели, — речь идет о заключениях системы **RfF о том, что США за счет имеющихся ресурсов** смогут поддержать текущий рост численности населения и экономики. На самом же деле результаты RfF выявили очень серьезные проблемы. В сценариях с высоким ростом в ближайшие 30 лет существенно истощаются не только внутренние запасы Соединенных Штатов, но и общемировые ресурсы, хотя в модель заложены самые оптимистичные предположения о развитии технологий. Разработчики интерпретировали полученные значения в столь радужном виде из-за своих мысленных моделей, повлиявших на восприятие. Финансировавшая работы Комиссия по населению исказила результаты еще больше, выступив в пользу медленного роста численности и не упомянув экономический рост вовсе, хотя на самом деле модель ясно показала, что экономический рост создает гораздо бóльшую нагрузку на ресурсы, чем увеличение численности населения. Даже если все предположения, заложенные в модель, были верны и корректно отражены в программном коде (что уже вызывает сомнения), все равно в заключениях и выводах содержатся ошибки.

Говоря о восприятии и интерпретации, мы должны привести и положительные примеры. Они есть. Компьютерные модели позволяют многому научиться. В некоторых случаях разработчики ожидали одних результатов, получали другие, а после внимательной проверки и компьютерных выкладок, и мысленных моделей обнаруживали, что в последних заключена ошибка.

Пикарди, скорее всего, не ожидал, что его модель признает программы помощи Сахелю виновными в дальнейшем ухудшении ситуа-

ции — вероятнее всего, он рассчитывал найти некоторые несложные стратегии, которые позволили бы раз и навсегда улучшить положение кочевых племен. А теперь он может объяснять полученные результаты, имея логичные аргументы, находящиеся в полном соответствии с интуитивно понятными взаимными связями в системе Сахеля. Фактически, мысленные модели самого Пикарди смогли «научиться» у относительно прозрачной компьютерной модели.

Вероятно, и Хаус с Уильямсом создавали модель **SOS с намерением** продемонстрировать все самые эффективные механизмы адаптации в современном обществе, а в результате модель так и не смогла приспособиться к имеющимся условиям. Причиной тому запаздывания в отклике системы и затраты на процесс адаптации — факторы, которые мысленные модели разработчиков изначально не считали важными. (Джей Форрестер как-то заметил, что люди обычно примерно в три раза недооценивают запаздывания в отклике системы.) Хаус и Уильямс пришли к выводу о том, что в системе необходимы существенные изменения, и это подчеркивает, что их начальное представление («беспокоиться не о чем») в результате работы изменилось.

Разработчикам **BACHUE их детище тоже преподнесло ряд сюрпризов.** Программы помощи сельским районам на самом деле приводили к изменению миграционных потоков, и в итоге все заканчивалось помощью урбанизированным территориям. Образование оказалось совсем не таким эффективным фактором воздействия, как предполагалось. Неравенство в распределении доходов продемонстрировало чрезвычайную устойчивость к любым изменениям.

Мы вовсе не хотим сказать, что все подобные заключения правильны только потому, что их никто не ждал. Не следует считать также, что все ожидаемые заключения неверны. Правильность любого заключения зависит от верности начальных предположений, корректности их перевода на язык компьютера и интерпретации итоговых результатов. Мы уже показали, что проблемы могут возникать на каждом этапе. Но при этом примеры демонстрируют потенциал компьютерного моделирования: оно расширяет и дополняет возможности человеческого мышления, укрепляет логическую связь между исходными предположениями и конечными выводами.

Таким образом, компьютерные модели, безусловно, способны на логичную, безошибочную работу по преобразованию исходных положений в заключения и по созданию информации, которую невозможно получить с помощью только мысленных моделей. Но при этом надо всегда помнить про возможные ошибки — их очень легко допустить как на этапе перевода предположений в программный код, так и при трактовке результатов. Чем сложнее и детальнее модель, тем многократно выше вероятность подобных ошибок.

14.4. Понятность и доступность

Компьютерные модели всегда заданы в явном виде и доступны для критики — свойство, которым никогда не смогут обладать мысленные модели. Любую компьютерную программу можно проверить, оценить и переписать. Каждое предположение можно сопоставить с тем, что наблюдается в реальном мире. Когда систему пытаются изучить на основании документации — так, как мы изучали девять моделей, — «проверяемость» принципиально важна, и мы можем подтвердить это на собственном опыте. В результатах, которые мы получили, есть и положительные примеры такой проверки, и отрицательные.

Начнем с хороших. Модель **SAHEL задокументирована очень четко**, и мы уверены, что досконально разобрались в ней. В чем-то это произошло благодаря тому, что наша парадигма соответствует мировоззрению разработчиков, но основная причина доступности — простота структуры и языка, которым написана документация. Понять ее смысл может даже неспециалист. Другой отличный пример — модель TEMPO, маленькая, с простой структурой, тщательно выполненным словесным описанием и подборкой алгебраических уравнений. Модель настолько прозрачна и доступна для понимания, что именно это навлекло на нее такую критику — системы **LTSM и BACHUE создавались** специально для того, чтобы показать неправильность TEMPO и предложить «корректный» вариант. Три этих модели, а также система Коула-Гувера, которая им предшествовала, наглядно показывают, что моделирование не стоит на месте, а непрерывно совершенствуется. Каждая группа разработчиков анализирует предыдущие модели, критикует их и создает более высокие по уровню системы. Последовательность из этих четырех моделей подтверждает, что их создатели честно и старательно документировали свою работу.

Для моделей SAHEL, SOS, TEMPO и MexicoV доступны технические материалы — их несложно получить, и они вполне достаточны для того, чтобы модель можно было воспроизвести и запустить на практически любом компьютере. Системы **SAHEL и TEMPO настолько просты и хорошо** описаны, что даже технически не очень подготовленный пользователь сможет понять большинство предположений и логических выкладок, которые приводят к полученным заключениям. Три модели (LTSM, MexicoV и SOS) достаточно просты по структуре, их основные положения можно разбирать одно за одним, но за ними довольно трудно увидеть общую картину. Словесное описание SOS, к сожалению, напрасно усложняет относительно простые первоначальные предположения. Четыре другие модели (RfF, BACHUE, KASM и CHAC) можно емко описать как издевательство над мозгом, несмотря на то, что разработчики BACHUE и KASM приложили массу усилий к тому, чтобы сопроводить свои модели информативными материалами.

Взгляд на характеристики и особенности последних четырех систем частично выдает причины, по которым компьютерные модели не всегда заданы явно, хотя должны бы. Во-первых, все они обладают обилием деталей — их так много, что в этом случае за деревьями не видно леса. Даже сами разработчики не могут осознать все взаимосвязи, ведущие к конкретному результату, и несмотря на массу потраченного времени, они все равно не смогли во всем разобраться. Крайне сомнительно, что кто-либо из команды разработчиков в действительности понимает, что именно делает модель и почему. Стоит ли удивляться, что и в документации нет четкой картины?

Когда высокая сложность модели сочетается с крайне сжатыми сроками, в жертву в первую очередь приносят документацию, и тогда система **(RfF тому пример) становится совершенно непонятной. Разработчики** не могут объяснить, как модель выдает конкретный результат, и не могут воспроизвести собственные вычисления дважды. Такая модель не более доступна или понятна, чем мысленная. Скорее, даже менее.

Системы **CHAC, RfF, MexicoV и частично KASM и BACHUE страдают** и от других проблем, которые тоже ясности не добавляют. Ни одна из них не пытается напрямую имитировать события, происходящие в реальном мире. Разработчики предпочли математические абстракции, специально созданные для того, чтобы дать нужный результат (который, как предполагается, типичен для реальной системы). Фактически результат получают благодаря механизму, у которого с реальной системой вообще нет ничего общего. Подобные неповеденческие модели невозможно понять интуитивно, поскольку они работают не так, как реальные системы (наша интуиция и опыт говорят об этом). Либо человек должен научиться мыслить математическими абстракциями во всем диапазоне условий и затем сопоставлять их с тем, что происходит в реальных системах, либо модели следует рассматривать исключительно как «черные ящики». Имитационные модели **(SAHEL, TEMPO, SOS, LTSM, частично BACHUE и KASM) пытаются** воспроизвести решения, запасы и потоки в целом в том виде, в котором большинство людей представляют их себе в мысленных моделях, и такие системы больше открыты для понимания и возможной критики.

Наконец, практически во всех моделях есть принципиальное препятствие, мешающее как следует в них разобраться: самые важные предположения в них заданы неявно. Определение проблемы, выбор метода, границы и избирательное игнорирование фактов о моделируемой системе составляют стержень, основную суть любой модели. Но их практически никогда в документацию не вносят, и не потому, что хотят скрыть, а потому, что чаще всего даже не осознают. Работая над книгой, мы практическим путем выяснили: нужно приложить

большие усилия и даже пройти специальное обучение, чтобы вытащить неосознанные предпосылки на свет божий. В каждой из девяти моделей, без всяких сомнений, есть критически важные, ключевые предположения, которые явным образом нигде не описаны и которые даже мы не обнаружили, несмотря на то, что активно их искали.

Другими словами, компьютерные модели действительно более понятны и доступны для критики, чем мысленные, но их важные составляющие часто не заявлены открыто. В некоторых случаях даже сами разработчики не очень понимают явно описанные части системы и не способны объяснить их суть остальным. Проблема объяснения модели другим людям тем сложнее, чем «навороченнее» система, особенно если ее структуру нельзя считать причинно-следственной или поведенческой. Основную массу таких моделей может критически оценить (если такое вообще возможно) лишь очень ограниченная группа специалистов, прошедших очень глубокую предварительную подготовку в соответствующей области.

14.5. Проверяемость

Проверяемость означает, что компьютерные модели легко поддаются тестированию, проверке на чувствительность и достоверность. На них можно пробовать альтернативные предположения, вырабатывать стратегии, которые на реальных системах испытывать нельзя.

При этом надо различать две разновидности тестирования: методологическое и проверку стратегий. Методологическое тестирование проводится для того, чтобы узнать свойства самой модели: к каким факторам она чувствительна, может ли воспроизводить поведение, в прошлом наблюдавшееся у реальной системы. Изучается, как модель реагирует на определенные виды воздействий и возмущений, в каких условиях ее поведение становится неконтролируемым. Такое тестирование должно находить слабые места модели и проверять ее сильные стороны для отражения реальной системы. На этом основании разработчик сможет судить о том, насколько можно доверять выдаваемым результатам. В идеале сначала проводится тщательное методологическое тестирование, и только после того, как разработчик убедился в правдоподобности модели, можно приступать к проверке стратегий. В систему закладываются различные внешние данные, изучается отклик на них, либо структура подвергается доработке, чтобы оценить, насколько это меняет поведение системы.

Лучшим примером методологического тестирования могут служить две модели, которые легли в основу диссертаций: MexicoV и SAHEL. Пикарди (которому в работе очень помог пакет программного обеспечения, удешевивший, ускоривший и упростивший работу) провел

детальный анализ чувствительности, варьируя все неточно заданные параметры и все непредсказуемые внешние переменные, например уровень осадков. Также он изучил поведение модели на протяжении различных временны́х периодов, проверив в том числе и крайние значения параметров. Бельтран дель Рио провел досконально тестирование различных структурных теорий — шаг очень нетипичный, требующий большого труда и потому заслуживающий глубокого уважения. Такое тестирование стоило бы провести и для других моделей. (Возможно, оно и проводилось, но в документации об этом ничего не сказано.)

Сравнение двух этих моделей с прочими, вошедшими в наш обзор, приводит к заключению о том, что соискатели ученой степени придерживаются гораздо более строгих стандартов в исследовании и методологическом тестировании, чем профессиональные разработчики моделей и даже те, кто уже имеет степень доктора. Большинство остальных моделей подвергли лишь выборочным, можно даже сказать, фрагментарным тестам, проведенным без всякого старания и творческого воображения. Модели TEMPO и LTSM было бы не так уж трудно проверить как следует, но разработчики ограничились минимальными усилиями. Это особенно удивляет, если учесть, что в основе каждой из них лежат в высшей степени неточные предположения — например, о том, как влияют программы планирования семьи на фертильность.

Модель SOS многократно запускалась с наборами различных предположений (нулевой рост численности населения, более медленный отклик на истощение ресурсов и т. д.), но только как система «вообще», с гипотетическими параметрами. Не было ни одной попытки привязать результаты к поведению какой-либо реальной системы. Системы CHAC, RfF и KASM вообще едва ли проверялись методологически. Их размер столь велик, что тестирование становится непозволительно дорогим. Об этом можно только сожалеть, ведь модели такого размера содержат особенно много предположений, которые обязательно нужно проверять. Моделью RfF управляют заданные извне прогнозы — их надо было бы варьировать и поодиночке, и в сочетаниях. И даже если прогон модели обходится дешево, а результаты легко поддаются интерпретации, все равно для проверки устойчивости по отношению к внешним условиям и параметрам потребовались бы годы. Если же запуск стоит дорого, интерпретирование одного результата занимает несколько дней, да еще заказчик стоит над душой, потому что отведенный срок уже истекает, то о методологическом тестировании забывают почти полностью.

Восемь из девяти моделей в том или ином виде прошли либо проверку на соответствие данным, накопленным за прошлые периоды, либо на поведение определенного типа (таким способом не проверяли только модель SOS). Ни одна из систем только за счет этого теста вовсе не показала себя более надежной и заслуживающей доверия. Неволь-

но закрадывается мысль: большинство моделей с такой легкостью проходят подобные проверки, что разработчики воспринимают их скорее как традиционный ритуал, а не как способ подтвердить достоверность. Призываются другие средства, задача которых — подтвердить достоверность, причем они могут быть самыми разными: обращение к интуитивному здравому смыслу (Пикарди), сравнение с результатами других моделей (BACHUE), формальная сводная статистика (MexicoV), проверка сопряженных переменных, рассчитанных при линейном программировании (CHAC). Из обсуждения полученных результатов складывается впечатление, что разработчики больше опираются на шестое чувство, чтобы решить, верить или не верить составным частям модели. При этом научить такому чувству других никто не может, и в результате часть результатов отвергается, а часть принимается без сколько-нибудь внятного обоснования.

Если говорить о проверке стратегий, то лучшими примерами служат те системы, которые создавались в совместной работе с заказчиками. Модели CHAC и KASM запускали с самыми разными наборами интересных вариантов стратегий, причем речь идет как о системах в целом, так и об отдельных модулях (хоть они и не проходили полноценного методологического тестирования). Самые академические и поучительные модели из нашего списка — SOS, SAHEL, TEMPO и RfF — создавались на самом деле не для того, чтобы анализировать конкретные стратегии для применения на практике.

Когда потребность проверять стратегии диктует заказчик, практически всегда он вовлекается в наблюдение за реакцией существующих систем на внешние факторы. (Какими будут последствия при двух и трех детях в семье? Что произойдет, если обеспечить регион Bajío сетью оросительных каналов? Что будет, если цену на рис привязать к цене на пшеницу?) Те заказчики, которым нужно проверить стратегию, конечно же, будут больше заинтересованы в подборе конкретных параметров, чем в исследовании различных изменений в структуре системы. Лишь одна модель, **SAHEL (носящая академический характер)**, была использована для проверки изменений в структуре во внутренней системе принятия решений. (Что произойдет, если размер стада станет меняться в ответ на состояние пастбищ?)

Пути, которыми стратегии отражаются в модели и тестируются, служат самыми явными уликами, свидетельствующими о предубеждениях и склонностях как разработчиков, так и заказчиков. Предпочитаемые стратегии предстают во всей красе, они удивительно эффективны. В модели LTSM инвестиции в сельское хозяйство приводят к магическим результатам без какого-либо запаздывания — происходит увеличение выпуска при отсутствии даже намека на сокращающиеся доходы. В модели TEMPO программы планирования семьи снижают рождаемость быстро и по строго линейному закону. Тесты

стратегий выдают себя и тем, что проводятся неравномерно, несимметрично. Более быстрые технические изменения изучаются, более медленные — нет. Вариант с увеличенными инвестициями в сельское хозяйство просчитывается, с уменьшенными — нет. Исследуются варианты положительных значений экспоненциального экономического роста, а отрицательные (снижение) никто не рассматривает. Больше удобрений, больше производительность труда, больше правительственных программ — проверяем. Меньше — нет.

Подводя итог, можно сказать, что компьютерные модели в теории довольно гибки, но на практике редко подвергаются тщательному тестированию и проверкам. Тесты проводятся разрозненные, фрагментарные, несимметричные. На них очень сильно влияют предубеждения и склонности разработчиков. Частично это объясняется тем, что размеры моделей слишком велики, их полное тестирование требует немыслимых сил и средств. Сказывается также общая нехватка воображения и творческого подхода, мотивации, уровня подготовки, общепризнанных методов тестирования и вовлеченности заказчиков.

14.6. Заключение: есть что улучшить

О компьютерных моделях как подспорье для принятия решений можно сказать кое-что хорошее и массу плохого. Хотя они превосходят мысленные модели как минимум в пяти аспектах, которые мы обсудили, их преимуществами удается воспользоваться не всегда. За нагромождением цифр обычно прячутся предельно простые теории. Методологические парадигмы приводят к открытиям, но в той же степени ограничивают творческий подход и восприятие. Компьютерные модели страдают от избыточных размеров и непостижимости. Когда они ограничиваются только теми численными данными, которые есть в наличии, из рассмотрения упускается весомая часть реального мира. Конечно, есть и счастливые исключения. Достижения девяти моделей вполне демонстрируют огромный потенциал этой области знаний. Но в то же время они разочаровывают настолько, что мы удивляемся, как же можно использовать столь малую толику этого потенциала...

Поскольку в этой главе мы высказали много критических замечаний, нужно привести аргументы и в пользу моделей как ценного инструмента исследований. Для этого можно представить, что осталось бы, не будь в нашем распоряжении подобного средства. Альтернатива компьютерному моделированию — не полная, конечно, но хоть какая-то — мысленное моделирование. Для некоторых целей оно полезно, для других непригодно. Его основная область применения — краткосрочные решения людей на основе личного опыта (здесь он имеет решающее значение). В таких моделях содержится много

информации о субъективных человеческих факторах, ценностях, мотивации, эстетических предпочтениях. Они абсолютно доступны, работают быстро и не требуют затрат, и именно их человек всегда будет использовать для срочных решений и тех случаев, когда не предполагается большая трата времени и ресурсов. Однако мысленные модели не способны анализировать по-настоящему сложные взаимодействия, упрямо не поддаются проверкам и изменениям, могут содержать логические несоответствия, их нельзя детально изучить. Во многих случаях они попросту неверны, и изменить такое положение дел едва ли удастся.

Задачи, для которых подходят мысленные модели, вероятно, не имеют для мира большого значения — поэтому мысленные модели и решают их. Если проблема не исчезает, значит, мысленные модели не могут с ней справиться, и тогда наша единственная надежда — строгие компьютерные модели, вероятно, более совершенные, чем те, что есть сейчас. Именно они нужны для решения задач, которые выходят за рамки знаний и компетентности одного человека, проблем, в которых очень много взаимозависимых факторов, которые содержат нелинейные взаимосвязи между людьми и различными явлениями. Рассел Эйкофф называл это «проблемами беспорядка»[3]. Их проявления — нищета, голод, разрушение окружающей среды, гонка ядерных вооружений, сложности с обретением независимости и самоопределением стран, неконтролируемая урбанизация и индустриализация.

Каждая из моделей, вошедших в наш обзор, внесла свой вклад в понимание этих процессов.

1. **SAHEL — несложная модель с четкой структурой, представляет** собой свежий взгляд на насущные краткосрочные проблемы, имеющие очень давние корни. Она демонстрирует взаимосвязь экосистемы и ценностей в человеческой культуре. Разработчики получили неожиданный, но очень четкий результат, дающий представление о реальных последствиях применяемых стратегий.
2. Система **RfF заключила в себе рост численности населения, выбросы** загрязнений в окружающую среду и использование ресурсов. Впервые это было сделано в столь подробной численной форме. Попутно модель способствовала глубокому изучению технологического прогнозирования. Поставленные ею вопросы имеют большое значение. Создание модели оправдывает сам факт того, что для исследования таких проблем была привлечена вычислительная техника.
3. Модель SOS полна оригинальных гипотез, которые поднимают важные вопросы о механизмах управления и общественного контроля. В сравнении с другими моделями она демонстриру-

ет принципиально новое, нешаблонное мышление и позволяет иначе взглянуть на промышленное развитие в долговременной перспективе.

4. Система **TEMPO на момент своего создания была первопроходцем**, объединившим в одной модели демографические и экономические аспекты. К тому же она достаточно прозрачна, что позволяет формулировать четкие и обоснованные выводы; она даже послужила основанием для нескольких последующих моделей.

5. Разработчики **LTSM установили своего рода рекорд в открытости** и честности документации на модель. Кроме того, они замкнули экономико-демографическую петлю обратной связи, сохранив при этом принципиальную простоту модели и доступность для понимания.

6. **BACHUE — единственная из моделей, использовавшая динамическую** теорию в распределении доходов. Она сосредоточила внимание на острых проблемах с рабочей силой, заработной платой и распределением средств, и в этом тоже отличалась от других. Кроме того, BACHUE — одна из немногих систем, которые попытались сочетать численную точность, присущую статистическим методам, с идеями причинности и обратной связи.

7. Модель KASM отличается сбором и использованием обширной информации и постоянным сотрудничеством с высшими политическими сферами. Вероятно, она продвинулась дальше всех других моделей в применении научных теорий к практическим потребностям. Разработчики **KASM творчески подошли к задаче** и использовали вместе разные подходы и методы моделирования, к тому же они были первыми, кому удалось представить модель правительствам в странах третьего мира.

8. **MexicoV — лучший пример систематичной и открытой проверки** теории. Документация этой модели — один из образцов четкого представления материала. Самое же главное состоит в том, что конкретный метод моделирования был применен именно к той проблеме, для которой он подходит больше всего.

9. Модель **CHAC представляет собой не только тщательную подборку** полевых исследований по агротехнологиям в Мексике (сама эта работа может быть полезной для самых разных целей и для большого количества будущих моделей), но и пример метода, из которого выжали максимум возможного благодаря нестандартному и очень изобретательно примененному математическому аппарату.

Но если говорить о строгости, полноте, внутренней логике, доступности и проверяемости — качествах, которыми перечисленные модели тоже должны были обладать, то тут можно заключить, что разработчики не использовали и малой части потенциала, присущего компьютерному моделированию. Инструментарий имеет свои недостатки, и девять моделей порой наглядно это демонстрировали. Главная проблема в том, что его не всегда применяли правильно, и причина заключается в людях. Нам есть что сказать об этом, и в части V приводятся наши рекомендации и предложения. Но до этого нужно выполнить последнюю задачу по оценке моделей — рассказать, где и как модели применялись на практике для решения проблем в реальном мире.

Ссылки на источники

1 *Lee D.B.*, Jr. Requiem for Large-Scale Models // AIP Journal. 1973. 39 (3). C. 163.

2 *Meadows D.H.*, *Meadows D.L.* Typographical **Errors and Technological Solu**tions // Nature. 1974. 247. C. 98.

3 *Ackoff R.L.* Redesigning the Future. New York: John Wiley & Sons, 1974.

15
ГЛАВА

Реализация: как меняется мир

На создание девяти моделей, описанных в этой книге, было потрачено огромное количество сил, времени и денег. Окупились ли эти вложения? Что мир получил взамен, изменился ли он благодаря созданным моделям? Помимо того, что некоторое время у специалистов были работа и доступ к вычислительным мощностям, и что появились толстые пачки отчетов, повлияло ли моделирование как-то на окружающий мир? Стал ли он лучше? Хуже? И самое главное, могут ли разработчики или заказчики сделать что-нибудь, чтобы улучшить не только качество компьютерных моделей, но и степень их воздействия на мир? Могут ли обнаруженные благодаря моделированию крупицы истины помочь нам в прогнозировании, создании или управлении сложными системами?

В этой главе мы кратко опишем этапы практического применения девяти моделей, несмотря на сложности, которые встретились при просмотре записей об этом. Точный суммарный эффект от их воздействия на мир никому не известен — вряд ли он вообще поддается оценке. Сложно даже сказать, положителен он в целом или отрицателен. Но чтобы сделать некоторые общие выводы, вполне достаточно и того, что нам удалось заметить в системе «разработчик — заказчик — окружающий мир».

Основное заключение состоит в том, что лишь немногие модели выдают именно такой результат, который от них ожидался. Он сопровождается побочными эффектами, неожиданными и порой озадачивающими. В этом отношении моделирование точно влияет на работу социальных систем, но это влияние не намеренное, оно не контролируется кем-то — ни разработчиками, ни финансирующими сторонами, ни заказчиками. Возникает резонный вопрос: почему моделирование так сложно направить на четкую, конкретную цель? Мы предложим несколько возможных ответов в последней части книги.

15.1. Значимость моделей и применяемых стратегий: необходимое отступление от темы

В литературе встречается огромное количество суждений на тему полезности компьютерного моделирования. Их можно разделить на две группы. С одной стороны, многие замечают, что во властных структурах и близких к ним кругах появляется все больше разработчиков моделей. Они выглядят представительно и строго, некоторые со временем даже занимают руководящие кресла. О моделировании пишут книги и статьи. Какие-то из них становятся популярными. Модели привлекают в подтверждение точки зрения; разработчиков вызывают выступить в конгрессе или суде; даже в газетах появляются интервью с создателями моделей, когда есть подходящий повод. Заказчики перечисляют организациям-разработчикам миллионы долларов. Те, кто оценивает ситуацию с такой позиции, наверняка считают, что все эти серьезные и занятые специалисты оказывают чрезвычайно сильное влияние на политику. Настолько сильное, что это вызывает тревогу. Такую точку зрения разделяют и многие разработчики, кому кажется, что *другие* создатели моделей (по сути — конкуренты) успешно внедряются в большую политику, и такая тенденция действительно не радует.

Вместе с тем даже большее количество людей, включая некоторых разработчиков и большинство политиков, считают, что внешне всё может выглядеть как бурлящий котел, но на самом деле моделирование очень мало влияет на принятие по-настоящему важных решений. Очень немногие создатели моделей заявляют, что *их собственные* системы оказали значительное воздействие (за исключением ситуаций, когда подается заявка на грант или просто надо «показать себя» перед другими разработчиками). Заказчики моделей говорят, что просто терпят разработчиков, поскольку считают их средством оправдать принятые решения, подкрепить выводы, к которым пришли раньше, или, в крайнем случае, отвлекающим маневром в суде, если рассматривается дело, связанное с соответствующей областью знаний. Никто не считает тех, кто работает с моделями, реальным рычагом воздействия на текущую политику. Люди, имеющие подобную точку зрения, согласны в том, что моделирование не имеет влияния (или, в крайнем случае, оно очень мало), но расходятся в оценке того, хорошо это или плохо.

Подобные суждения основаны на интуитивном восприятии ситуации. Обычно при этом фактические знания об области моделирования и текущих проектах очень малы, зато велико желание верить, что моделирование важно (или наоборот, не важно) для мира. Так происходит и с другими суждениями о попытках изменить социальную систему: формируются они быстро и просто, но при этом больше говорят о том, *кто* высказывает подобное мнение, чем о предмете изучения.

Оценка любых политических процессов, программ поддержки в виде продовольственных талонов, бюджетирования с нуля, субсидирования атомной энергетики или финансирования создания компьютерной модели — дело тонкое. В этой области возможно всякое... Прежде чем мы поделимся своими оценками девяти моделей, стоит сказать несколько слов о том, что необходимо знать, чтобы оценить вклад модели в реальную жизнь.

15.1.1. Цели тех, кто разрабатывает модели, тех, кто их заказывает, и тех, кто их оценивает

Оценка по определению требует сравнения полученных результатов с каким-то стандартом или целевым уровнем. Однако в человеческой деятельности обычно так много разных целей, что ни одна из них не может служить мерой для модели. Подмена цели — одна из основных причин разногласий по вопросам оценки. Каждый, кто вовлечен в проект по моделированию, как минимум преследует свою личную цель, и у разных людей они редко совпадают. Разработчик, финансирующая сторона и заказчик могут стремиться к несовместимым и даже прямо противоречащим друг другу целям. Терпит ли модель крах, если она достигает целей разработчиков и тех, кто финансирует ее создание, но не выполняет задачи заказчика? И успешна ли она, если отвечает потребностям клиента, но не удовлетворяет собственных создателей?

Положение осложняется еще больше, поскольку у большинства людей цель не одна — их несколько. К примеру, могут существовать:

1) *заявленные цели* — те, что указаны в контракте на проведение исследования или в документации на модель, а также те, что описаны при представлении модели публике (например, создать инструмент для планирования для министерства X, продвинуться в общем понимании проблемы Y, снизить затраты на программу Z);
2) *личные цели или цели организации, выполняющей работу*, — они редко заявлены в открытую, но очень важны; это немедленные результаты, которые каждый человек ожидает от проекта (написать и защитить диссертацию, поддержать своих аспирантов, успокоить шефа, который настаивает на том, чтобы деятельность приносила результат, оправдать затраченные средства и увеличение бюджета...). О таких целях не принято распространяться, но они есть, их можно понять и учесть;
3) *сокровенные страхи и надежды* — то, что принято относить к «задним мыслям». Свои мечты и ночные кошмары есть у каждого. Не все в них верят, но подсознательно они влияют на то,

как будет продвигаться проект. (На людей по-разному действует необходимость выступить перед начальством; страх стать посмешищем в глазах других из-за досадной математической ошибки; ответственность за создание методологии, которую будут использовать все; опасение давать советы, поскольку их могут извратить или они просто не сработают; желание получить Нобелевскую премию, наконец...) Сокровенными мечтами и страхами не делятся с другими, их не озвучивают даже себе, и догадаться об их содержании извне трудно, но от этого они не исчезают;

4) *жизненные цели* — принципиальные, глубинные идеи и жизненные устремления человека. То, чего каждый стремится добиться в жизни; то, как проект соотносится с личными ценностями, мировоззрением, гражданской позицией. (Добиться, чтобы все люди осознали последствия от роста численности населения; показать, что женщины не уступают мужчинам в рациональности и практичности; разрушить классовые ограничения; показать, какой вклад ученый, занимающийся политикой, может сделать в экономический анализ; добиться признания системной динамики...)

Разумеется, внешний наблюдатель может оценить только заявленные цели, и даже с ними иногда возникают проблемы — в некоторых моделях они описаны очень путанно. О других целях нужно догадываться, а если вам это покажется несложным, то учтите еще и личные цели того, кто оценивает, потому что это тоже влияет на результат. Например, в нашем представлении мир столкнулся с большими проблемами, текущая ситуация не может продлиться долго, необходимо предпринимать серьезные изменения. По этой причине мы всегда приветствуем появление моделей, которые «приводят мир в чувство» и предлагают принципиальные изменения. Наши собственные склонности заставляют нас сравнивать влияние модели на мир с *нашими* стандартами, а не теми, что есть у ее разработчиков. Помните об этом, читая следующие главы, — в них мы намеренно сдерживаем себя, чтобы не вносить лишние искажения. Но в самом конце книги мы выскажемся открыто, не стараясь смягчать формулировки.

15.1.2. Насколько были достигнуты поставленные цели

Если в моделях заявлены цели, то необходимо оценить, насколько они достигнуты. Исследование SAHEL должно было помочь разработать программы помощи для Сахельского региона. Появились ли эти программы? Учли ли они результаты, показанные моделью? Система KASM создавалась как инструмент для планирования, которым корейское правительство пользовалось бы постоянно. Применялась ли

она на практике? Последовал ли Всемирный банк советам модели CHAC насчет финансирования каналов для орошения в сравнении со скважинами? На такие вопросы вполне можно найти ответы, как минимум на качественном уровне — достаточно посмотреть, как развивались те или иные процессы, что происходило с людьми, организациями, как менялись нормы и законы в соответствующей стране.

Количественно оценить, насколько разработка достигла заявленных целей, гораздо сложнее. Каким должен быть взнос модели в принятие решений, чтобы сказать, что ее создание было оправданным? Должен ли это быть инструмент планирования, которым пользуются ежедневно, раз в год или вообще один раз в жизни? Считать ли модель, которую регулярно используют для незначительных решений, более успешной, чем ту, которую применили однажды, но зато она прояснила серьезный стратегический вопрос?

Оценка того, насколько выполнены *незаявленные* цели, вообще спекулятивна, ведь мы можем только гадать об их содержании. Можно увидеть только внешние последствия проектов по моделированию, отследить, как развивалась карьера тех, кто создавал модель, как работают соответствующие организации, чем занимаются заказчики, и из этого делать заключение.

15.1.3. Какой ценой далось достижение этих целей

Прямые затраты финансовых средств, усилий специалистов, компьютерного времени и транспортные расходы вполне можно измерить, хотя такая информация редко приводится в документации на модель. Гораздо сложнее оценить издержки выбора, упущенные возможности и потенциальные расходы на достижение той же самой цели другим путем. Что произошло бы, если бы денежные средства и человеко-часы труда, затраченные на моделирование, были бы направлены на другие цели? Каким было бы решение или стратегия, если бы компьютерное моделирование не использовалось вовсе? Каких результатов можно было бы достичь, например, потратив пару часов на расчеты на калькуляторе? Большинство таких вопросов можно объединить под названием «Что, если...?», и ответить на них можно, только если прибегать к догадкам и спекуляциям в самом широком диапазоне.

15.1.4. Непредвиденные побочные эффекты

В эту категорию попадает множество явлений, как положительных, так и отрицательных. Положительные побочные эффекты исследования иногда просто бросаются в глаза, к тому же разработчики всегда рады о них поговорить. Отдельная информация, полученная в ходе моделирования, может быть собрана и переупорядочена так, чтобы ее могли использовать и другие люди и организации, а не только исход-

ные заказчики. Можно усовершенствовать процедуры сбора данных, провести родственные исследования, повторяющие, расширяющие и исправляющие исходное. Общество может быть охвачено принципиально новой идеей, которая воплотится во множестве решений, принятых позже. Разработчики могут получить признание за свою прозорливость и уровень знаний, позволившие создать систему. Они даже сами иногда подаются в политику (среди разработчиков это тоже считается положительным эффектом).

Есть и отрицательные последствия. Влияние модели может быть слабым, и тогда его не смогут отследить. Модель может застрять на принятых теориях и доступных данных, отвлекая внимание от принципиально важных вопросов, которые лежат за пределами традиционных представлений. Успешное применение краткосрочной системы может усилить склонность политиков к мышлению исключительно на ближайшую перспективу, тогда как только долговременный подход может принести пользу. Сам факт проведения исследования может замедлить принятие решения, когда оно насущно необходимо, либо привести к действиям, которые на самом деле пагубны. Результаты исследования или тот путь, которым они были получены, могут затронуть чьи-то интересы, и тогда у разработчиков или заказчиков (а иногда и у всей области моделирования) появятся непримиримые противники.

Оценить влияние моделей — примерно то же самое, что давать заключение о «Богатстве народов» Адама Смита или «Коммунистическом манифесте» Карла Маркса через пять лет после их создания. По-хорошему, для этого нужно отследить социальную систему на 20—100 лет вперед, знать о ней все и вдобавок понимать, как она вела бы себя, не будь проекта по моделированию вообще. Нет нужды говорить, что такой информацией не располагает никто.

Нас, авторов этой книги, всего двое, и во времени мы путешествовать не умеем. Мы видим некоторые последствия, ожидаемые и нет, происходящие в других странах, иных социальных системах, организациях, которые очень далеки от нас, как с географической, так и культурной точки зрения. Если, с нашей точки зрения, ничего не произошло, то вполне может быть, что мы просто смотрели недостаточно долго или не в том направлении. Даже если есть положительные свидетельства о влиянии модели, то они поступают из третьих рук. Мы больше беседовали с разработчиками, чем с заказчиками, поэтому наше свидетельство искажено в пользу коллег. Заключения привязаны к результатам, с которыми мы работали, и часто у нас на руках были «факты», просто противоречащие друг другу[1, 2].

Мы описали сложности в оценке моделей и их применимости не для того, чтобы в этом месте закончить главу (хотя такая мысль была), а потому, что к работе нужно подходить с должной скромностью и здоровым скептицизмом. В прошлом суждения о последствиях любого

вмешательства в социальные системы (даже если это были компьютерные модели) принимались слишком поспешно и были слишком категоричны. В социальной политике столько непонятного, так мало установленных фактов о разработке конкретных программ, так много предвзятых и субъективных источников информации, что никакое воздействие на социальную систему невозможно полностью отследить и оценить. Именно потому, что социальные системы ошеломляюще сложны, и приходится прибегать к помощи математических моделей.

15.2. Записи о реализации, какими мы их видим

Девять разработок в этой книге взяты, можно сказать, с переднего края моделирования социальных систем. Это не те рутинные оптимизационные модели, которые каждый день используются в учетно-расчетных отделах крупных предприятий, и не те диагностические программы, которые консалтинговые фирмы создают по заказу компаний, испытывающих организационные трудности[3]. Вошедшие в обзор системы описывают долгосрочные проблемы экономического развития целых стран и регионов либо пытаются дать краткосрочные прогнозы и помочь в принятии решений на национальном уровне. Это проблемы самого высокого государственного уровня. В этой области, как ни в какой другой, нужен системный подход, но ни в одной другой сфере это мировоззрение не встречает такую массу препятствий, как здесь. Модели проверялись в самой что ни на есть жесткой и неблагоприятной среде.

В части III **мы уже поделились краткой историей каждой разработ**ки, насколько нам удалось ее разузнать. Здесь же мы сделаем несколько обобщений.

Все девять моделей разделяют убежденность в том, что моделирование способно влиять на реальный мир. Словно круги на воде, последствия от каждого проекта распространяются в обществе, меняя человеческие представления, решения, виды деятельности, влияя на репутацию. Некоторые волны затухают быстро, другие только усиливаются и захватывают другие области, а порой перекрывают друг друга. Из модели TEMPO родились системы LTSM и BACHUE. Ридкер позаимствовал модель у Элмона, а затем другую у Хауса. Исходно нигерийская модель стала кенийской, а затем превратилась в систему единого рынка и модель международной торговли. Каждая из девяти разработок оставила за собой след в мире политики и моделирования, что привлекло наше внимание и обеспечило материал для этой книги.

Три из описанных моделей (KASM, MexicoV и CHAC) их заказчики использовали примерно так, как предполагали разработчики, по крайней мере, некоторое время. В нашем обзоре есть модели с самыми огра-

ниченными задачами и самыми короткими временны́ми диапазонами. Их заявленные цели направлены на подробное применение, модели основаны на парадигме практического использования и исповедуют критерии успешности, которые хорошо известны в мире политики и управления. Их создатели все время работали в тесном контакте с заказчиками и приложили значительные усилия к тому, чтобы хорошо представить им свою модель, сделать ее известной широкой публике, постоянно используемой на практике. Тем не менее ни KASM, ни CHAC никогда не использовались как инструмент для регулярного общего планирования, хотя создатели надеялись именно на это. Когда работа была сдана и «рекламная кампания» закончилась, использование этих моделей прекратилось.

Система TEMPO очень понравилась Агентству США по международному развитию (USAID), финансировавшему проект, но ее влияние на страны третьего мира весьма противоречиво. Модель создавалась для передачи принципиального представления о мире, определенного ви́дения, от одной культуры к другой, а это очень сложная задача. Львиную долю усилий разработчики потратили на то, чтобы упростить информацию и научиться эффективно подавать ее, а не на разработку собственно модели.

Модели LTSM и BACHUE были приняты заказчиками с прохладцей. Это системы, предназначенные для разработки стратегий; в рамках традиционных концепций и методов они содержат мало принципиально новых идей. Создавали их в одном месте, применять должны были в другом, и основные силы ушли именно на моделирование, а не на представление модели и ее описание (хотя о системе BACHUE было что рассказать). Возможно, эти модели изменили чьи-то представления. Во всяком случае, их создатели за время работы существенно повысили свой профессиональный уровень, в этом сомнений нет, но правительственные круги все равно не использовали готовые наработки и к моделям регулярно не обращались.

Результаты трех моделей с самыми продолжительными временны́ми диапазонами (SAHEL, RfF и SOS) поставили под вопрос текущую политику и предложили совершенно новый взгляд на положение дел. Программы создавались совсем не там, где их предполагалось использовать (а система SOS и вовсе не имела конкретной области применения), и заказчики к работе не привлекались вовсе. Клиенты приняли результаты работы в штыки, а в случае с моделями SAHEL и RfF даже активно противодействовали публикации любой информации. Все три группы разработчиков в итоге пришли к выводу о том, что их заказчиками следует считать широкую аудиторию, и публиковали общедоступные статьи и книги, чтобы рассказать о том, что удалось обнаружить в ходе исследования.

Если говорить о *заявленных целях* и прямых последствиях, то модели KASM, MexicoV, CHAC и TEMPO можно считать частично успеш-

ными, в то время как остальные в этом отношении потерпели фиаско. Правда, если вы попросите найти какой-то простой и универсальный критерий успешности/неуспешности, мы окажемся в большом затруднении.

Документация, к примеру, критически важна для научных целей, но не имеет особого значения для конкретного применения. Систему CHAC в общем и целом использовали так, как и предполагалось, хотя она никогда не была толком задокументирована. Для модели MexicoV документация была подготовлена на самом высоком уровне, и использовали эту систему тоже с толком. Модель KASM описали только после того, как она была применена и уже оказала все влияние, на которое была способна. Система **SAHEL изначально была описана четко и понятно**, но на практике не использовалась никогда.

По заявленным целям модели, созданные научными институтами, показали себя и как эффективные (**MexicoV, KASM**), **и как неэффективные (SAHEL). То же самое можно сказать и про частные модели (эффективная — CHAC, неэффективная — SOS), и про системы, созданные** профессиональными консультантами (эффективная — TEMPO, неэффективная — RfF). И сложные, и простые модели могли быть приняты благосклонно, но их могли и отвергнуть (приняты — сложная модель CHAC и простая TEMPO, отвергнуты — сложная система BACHUE и простая **SAHEL). Как видите, ни один метод моделирования** не имеет заведомых преимуществ перед другими и не может гарантировать успешного применения, независимо от выделенного бюджета или требований заказчика.

Мир политики вертится гораздо быстрее, чем мир ученых, и иногда говорят, что для успеха очень важна оперативность. Однако и Пикарди, и Ридкеру удалось вписаться в жесткие временные рамки (им отводили на работу по году), но в результате одна модель оказалась успешной, а другая нет. В то же время модели **TEMPO и KASM разрабатывались** несколько лет, прежде чем добились хотя бы частичного успеха. Систему CHAC создали и внедрили довольно быстро, модель BACHUE разрабатывали долго и так и не использовали.

Однако вернемся к *заявленным целям*. Это узкий, четко определенный критерий успешности. Задачи разработчиков очень сильно различались по сложности. Одно дело — убедить Всемирный банк в том, что скважины будут более выгодным вложением денег, чем сеть оросительных каналов, используя собственные предположения банка о том, как работает экономическая система, и его же критерии выгодности. И совсем другое — убедить официальных представителей Агентства USAID расширить временной диапазон до 200 лет, научить их мыслить в терминах обратных связей и экологической стабильности как наивысшей ценности, и заставить признать, что программы помощи Сахелю в прошлом приводили только к ухудшению ситуации.

Во втором случае задача на многие порядки сложнее, и неудивительно, что ее выполнить не удалось. Возможно, Пикарди следовало приложить больше усилий, а не использовать ту же тактику, что применяла группа разработчиков CHAC.

Если рассмотреть еще и личные, и организационные цели, то все разработчики и большинство заказчиков в большой степени их достигли. Бельтран дель Рио и Пикарди получили ученые степени. Университету штата Мичиган были выделены средства для аспирантов и на оплату расходов. Агентство USAID оправдалось за расширенный бюджет на Сахельский проект. Модель CHAC получила престижный приз за исследования в области управления. Корейское Министерство сельского хозяйства и рыбной ловли усовершенствовало свои базы данных и расширило возможности анализа. Массачусетский технологический институт дал многим специалистам работу на год, Президентская комиссия получила внушительный отчет, Банк Мексики стал обладателем набора прогнозов, по качеству не уступающих другим доступным прогнозам.

Все создатели моделей до сих пор профессионально работают в области моделирования и вполне устроены. Многие перешли к более масштабным и хорошо финансируемым проектам; некоторые подались в большую политику. Все они заявляют, что работа над моделями очень способствовала пониманию, профессиональному росту и развитию. Практически все модели положили начало другим исследованиям, которые расширили метод, структуру или список ключевых вопросов в той же области. Стали популярными выражения «модель типа CHAC»; часто говорят об «обновленной версии TEMPO».

Каждая система оставила после себя массу текстовых материалов, в среднем толщиной с полметра, если не считать распечатки результатов. Сотни, а возможно, и тысячи свидетельств, статей, заявлений, обсуждений и семинаров распространяли информацию, идеи и выводы, сделанные благодаря моделям. Открытий, перевернувших мир, среди них не было, но многие озвучили то, что буквально «носилось в воздухе», точно сформулировали, зафиксировали в виде программного кода и заинтересовали этими темами серьезные организации. Кто знает, сколько человек расширили свой кругозор и изменили мировоззрение, услышав о том, что рост численности населения может замедлять экономическое развитие? Многие обратили внимание и прочитали отчет Пикарди об общинах Сахеля; заявление Комиссии США по населению, утверждающее, что ресурсов будет достаточно, а с загрязнением удастся справиться; призывы разработчиков BACHUE к экономической справедливости. Все модели указывают на взаимосвязи явлений, которые внешне выглядят совершенно независимыми. И все они напоминают обществу о том, насколько узко и неполно наше понимание повседневных событий.

Вместе с тем ни один из разработчиков по большому счету не достиг того, что мы назвали жизненными целями. Мир до сих пор не избавился от нищеты, бедности, промышленного хаоса. Ни одна из систем, которые послужили прообразами моделей (кочевые племена Сахеля, экономика США, население и его деятельность в Египте, на Филиппинах, в Мексике), не работает плавно или эффективно, в соответствии с хотя бы чьими-то пожеланиями. Корейское сельское хозяйство процветает, но, скорее всего, вовсе не благодаря системе KASM. Очень сложно сказать, стала бы хоть одна из этих систем работать иначе, если бы модели никогда не появились на свет. Ни один из разработчиков не получил Нобелевскую премию, и ни один не возглавил серьезную политическую силу. Их имена всемирно известными не стали.

Подводя итог, можно сделать несколько принципиальных выводов (это наши собственные заключения, оценка со своей точки зрения, в данное время и в данном месте).

1. Модели имели множество разных последствий, часть из которых можно увидеть, а другую (вероятно, бóльшую) — нельзя.
2. Те эффекты, которые доступны наблюдению, лишь иногда и только частично соответствуют заявленным целям разработчиков, спонсоров и заказчиков.
3. Личные и организационные цели, насколько мы можем судить, скорее всего достигнуты. По крайней мере, ни один человек и ни одна организация в ходе работ не пострадали.
4. Подспудные страхи не оправдались, а затаенные надежды не исполнились — ничего очень страшного или очень желанного так и не произошло.
5. Модели едва заметно изменили видимое поведение мира (если вообще имели какое-то влияние) — даже те, которые были нацелены на конкретное применение в конкретных частях реального мира.
6. Основное влияние пришлось на важную, но неизмеряемую часть системы: идеи и представления. Модели озвучили проблемы, обозначили свою позицию, опровергли определенные взгляды, подкрепили старые или предложили новые пути мышления о системах, в которых мы живем. Они усовершенствовали мысленные модели разработчиков, напомнили, что мир сложен, внесли свой вклад в обсуждение и продолжают делать это.

15.3. Некоторые предположения

Можно найти множество разных предположений, объясняющих, почему модели не всегда достигают целей, поставленных их создателя-

ми, и порой ведут себя непредсказуемо (о том, чтобы изменить мир в заданном направлении, мы даже не говорим). Подобными версиями полны учебники, о них говорят на лекциях по моделированию, семинарах и конференциях; специалисты обсуждают это в кулуарах. Если не брать в расчет подковерные интриги, а рассматривать исключительно суть проблемы, то можно предложить шесть основных версий. Мы намеренно приводим их в самой что ни на есть прямолинейной форме, чтобы не оставалось никаких разночтений.

Версия 1. Политики — невежды

Создавать модели для политиков — то же самое, что метать бисер перед свиньями. Мир политики неподвластен логике, в нем часто всё пронизано коррупцией, сверху донизу. Заказчики просто желают получить подтверждение своему мнению. Если высказать что-то, идущее вразрез с их представлениями, они либо заставят вас изменить формулировки на желаемые, либо уволят. Даже те из чиновников, кто действует из лучших побуждений, все равно повязаны правилами бюрократической системы, в которой отделы и подразделения не работают, а создают видимость, и бал правят сиюминутные шкурные интересы. В бюрократической машине нет места для долгосрочных, междисциплинарных и системных представлений. Моделирование представляет собой замечательный инструмент, но мир политики просто не готов к нему.

Совет разработчикам

У вас есть три варианта.

1. Продаться и за деньги озвучить желаемый результат.
2. Держаться подальше от политиков, считать своей аудиторией широкую публику и жить на скромные доходы.
3. Податься в какую-нибудь более прибыльную профессию.

Совет заказчикам

Боритесь с системой, стиснув зубы, защищайте моделирование и создавайте для него новые области применения. Если вы из-за этого потеряете работу, значит, она того не стоила и надо заняться чем-нибудь другим.

Версия 2. Разработчики моделей — мечтательные простофили

Разработчиков не принимают во внимание, потому что они этого заслуживают. Они просто наивные идеалисты, которые не имеют представления о том, что на самом деле происходит в этом мире. Такие люди громоздят математические уравнения друг на друга, а потом скармливают моделям неисчислимое множество совершенно бессмысленных

данных и огромное количество денег. Они никогда не занимаются по-настоящему важными проблемами. Разработчики говорят на тарабарском языке, который заставляет обычных людей чувствовать себя ущербными, а когда вы просите их объяснить по-человечески, говорят только то, что вы и так знаете. Когда они заканчивают исследовать что-нибудь, это уже никому не интересно. Моделирование — бестолковый, неудобный и бесполезный инструмент. Дорогая игрушка, не более того. В политике его использовать нельзя.

Совет разработчикам

Говорите простым и понятным языком, прислушивайтесь к другим, выделите определенное время на изучение политики, чтобы представлять себе, что происходит вокруг и как устроен мир. Соблюдайте установленные сроки работ. Работайте над проблемами заказчиков, а не своими собственными. Не будьте надменными. Если вы не можете последовать этим советам, значит, моделирование — не ваша область деятельности.

Совет заказчикам

Если вам необходимо иметь дело с разработчиками моделей, обращайтесь с ними как с маленькими детьми — не ждите от них слишком многого и не позволяйте им распускаться. Четко формулируйте, что именно вы от них хотите, требуйте регулярных отчетов, следите, чтобы они работали над вашей проблемой, расторгайте контракт, если сроки нарушены или если с вами упорно говорят на профессиональном жаргоне. Внимательно проверяйте отчеты о расходовании выделенных средств.

Версия 3. Сверхразработчик сверхмодели

Чтобы сделать добротную модель (не что-то экстраординарное, а просто хорошо выполненную работу), нужны незаурядные технические способности и научный подход. Ими обладают не все. Чтобы «продать» модель и обеспечить ее правильное использование, требуются довольно специфичные знания и навыки, умение донести смысл до собеседника, международные связи. Очень немногие люди на планете обладают такими качествами с рождения. Если вы не из их числа, приобрести или натренировать такие способности уже не удастся. Моделирование — слишком мудреный инструмент, чтобы им могли пользоваться обычные люди.

Совет разработчикам

Будьте честны перед собой и заказчиком: действительно ли вы обладаете такими качествами? Вы сверхчеловек и сверхразработчик или просто пускаете пыль в глаза? Если второе, то лучше бы вам заняться чем-нибудь другим в этой жизни. Если же вы обладаете частью качеств,

нужных для высокопрофессионального моделирования, то объединитесь с теми специалистами, чьи умения дополняют ваши.

Совет заказчикам

Нанимайте только сверхразработчиков и суперкоманды.

Версия 4. Две разных культуры

Создатели моделей и заказчики живут в разных мирах, совершенно не пересекающихся друг с другом. Они видят разное, реагируют на разные раздражители. В каждом мире есть талантливые люди, в основе своей честные, они пытаются хорошо делать свою работу. У каждой стороны свой взгляд на политику, и каждый может выиграть от сотрудничества с другой стороной. Основная проблема в том, чтобы найти общий язык и наладить обмен информацией между мирами. Здесь речь идет не об инструменте, а о человеческом умении подавать информацию и понимать ее.

Совет и разработчикам, и заказчикам

Будьте терпеливы. Слушайте внимательно. Попытайтесь вникнуть в потребности другой стороны, уважайте ее проблемы и нужды. Посидите вместе за кружечкой пива. Ищите общее между двумя мирами, то, что роднит их и позволяет понять друг друга. Объясняйте политикам суть методов моделирования или ставьте разработчиков на управленческие должности, чтобы они видели ситуацию изнутри. Либо ищите талантливых «переводчиков», которые смогут связать два мира и постоянно поддерживать обмен информацией.

Версия 5. Последовательность обучения

Компьютеры вошли в обиход всего несколько десятков лет назад, а моделирование социальных систем сделало первые шаги в 1970-е гг. Создатели моделей делают все возможное для выполнения технических задач и решения научных вопросов. Заказчики еще не научились правильно применять столь мощный инструмент. Обе стороны быстро учатся, однако изменения в социальных технологиях и науках не могут происходить мгновенно или развиваться по плану. В конце концов, медицине пришлось потратить целые века на то, чтобы вероятность излечения пациента стала выше 50%. В моделировании очень важен фактор взаимодействия людей — не технические навыки, а обмен информацией. Развитие таких навыков требует времени.

Совет разработчикам и заказчикам

Будьте терпеливы и не останавливайтесь на полпути. Учитесь на своих ошибках и делитесь информацией с другими. Старайтесь использовать

приемы и методы, позволяющие ускорить обучение. Не ошибается только тот, кто ничего не делает. Не бойтесь ошибиться и пробуйте.

Версия 6. Проблем на самом деле нет

Единственная проблема с моделированием состоит в том, что большинство людей говорит неправду о том, для чего оно было нужно. Громкие заявления о пересмотре политики и улучшении понимания — просто дымовая завеса, за которой скрывается желание урвать бюджетные средства и добиться признания в обществе. Настоящие цели — личные интересы людей и организаций, участвующих в проектах, и они с блеском добиваются желаемого. Разработчики играются в свои уравнения, заказчики наслаждаются ореолом научности и высокотехнологичности. Все получают удовольствие от процесса. В тех немногих случаях, когда разработчики и заказчики искренне стремились решить серьезные проблемы, им это действительно удавалось, решение находилось и было воплощено в жизнь. Методы, обмен информацией, знания и профессиональные навыки разработчиков, хорошее восприятие и способности заказчиков — все это на самом деле есть и помогает выполнить работу успешно. И создатели моделей, и заказчики могут получать от процесса моделирования все, чего только пожелают. Но до сего времени единственное, чего они хотели — сделать модель. И всё.

Совет разработчикам и заказчикам

Вы все делаете правильно. Не сомневайтесь, вы четко выражаете свои цели, по крайней мере для себя, потому что именно те цели, которые пока еще только в подсознании, будут реализованы. Остальному миру было бы только выгодно, если бы вы смогли направить эти цели на решение социальных проблем.

Если бы мы следовали обычному научному подходу, сейчас настало бы время предоставить *доказательства* к любой или всем версиям. Сделать это было бы не так уж трудно, но в каждом из них заключалась бы только часть общей истины. Девять моделей в той или иной степени иллюстрируют все шесть предположений. В жизни действительно встречаются невежественные заказчики. Попадаются и мечтательные разработчики, живущие словно на другой планете. Между двумя мирами действительно есть пропасть, многому еще предстоит научиться. Практически любой специалист, связанный с моделированием, сталкивался с тем, о чем говорят шесть версий, — в то или иное время, в том или ином месте.

Если же искать им не подтверждение, а *опровержение*, то мы убедимся в том, что эти версии практически не фальсифицируемы, а значит, их нельзя считать настоящими теориями. У нас нет объективной шкалы для оценки профессиональных качеств сверхразработчиков,

степени коррумпированности заказчиков или реальных намерений создателей и заказчиков моделей. Всегда можно обвинить в неудаче недостаточный уровень знаний, слабое стремление к цели или провал в обмене информацией между клиентами и разработчиками. Этим можно объяснить всё и не объяснить ничего. Если уж на то пошло, шесть версий не следовало воспринимать как теории изначально — все они избирательно отражают только часть истины и представляют собой оправдания для полученных результатов.

Правильнее было бы спрашивать не то, какая из версий *верна*, а какая может повлиять на получение желаемых результатов. Социальные системы, в отличие от природных, могут реагировать на сам факт озвучивания проблемы. В них предположения — уже часть системы. Шесть взглядов на систему моделирование/политика — не только объяснения, но в каком-то смысле и причины, формирующие реальность, самореализующиеся предсказания. Хотя некоторые из них можно отметать как бесплодные и бесполезные.

Вообразите, например, взаимоотношения разработчика, для которого характерны представления из версии 1 (заказчики — невежды), и клиента, исповедующего взгляды из версии 2 (разработчики — мечтательные простофили). Если проекту вообще удалось стартовать, он будет развиваться примерно так.

Разработчик	*Заказчик*
Вот он я, готов пролить свет системного анализа на темный и мрачный мир политики	Ну вот, еще один яйцеголовый моделист
Я собираюсь создать модель, которая покажет вам, почему стратегия *X* лучше всех прочих	Я и так знаю, что стратегия *X* хороша. Лучше сделай модель так, чтобы стратегию *X* можно было продать агентству *Y*. Они постоянно вставляют мне палки в колеса, а вот компьютерные штучки им нравятся
Этот парень — полный болван, но без контракта с ним мне не удержать своих специалистов, все разбегутся по другим конторам	Мне нужны все виды поддержки, чтобы протолкнуть стратегию *X*
Для работы мне потребуется 20 человек, 6000 часов компьютерного времени, 100 000 долл. на транспортные и накладные расходы	Хм-м-м, ну ладно. Это хотя бы оправдает мой запрос на увеличение бюджета. Расходы надо спланировать так, чтобы все они пришлись на будущий год
А теперь я займусь созданием модели. Ход работ вам все равно будет непонятен, поэтому ждите отчета в январе	Договорились. И до того времени пусть никто мне не докучает

Проходит время	
Извините за задержки — у нас были проблемы с программным обеспечением, к тому же пришлось ждать окончания квартала, чтобы получить свежие данные. В общем, мы скомпилировали программу только в прошлый вторник	Напомните, как вас зовут?
Обратите внимание, что в данном случае потребовалось наложить ограничения на отклик рынка, что привело к тому, что совокупное значение выпуска продукции стало существенно отличаться от равновесного уровня, характерного для области неограниченного отклика	Добиваться от моделиста изложения на человеческом языке — все равно что выжимать воду из камня!
Из всего сказанного следует вывод о том, что стратегия *X* оказалась не столь привлекательной, как мы думали. Фактически она только ухудшает положение дел	Мусор на входе — мусор на выходе. Вот они, программисты!
Если они собирались игнорировать полученные результаты, зачем вообще нас нанимали?	Я знал, что этим все кончится. Зачем вообще я их нанял?
Политики — непроходимые тупицы	Моделисты — безответственные разгильдяи

В итоге первоначальные представления сторон только укрепляются. Единственный результат всего предприятия — каждый получил подтверждение своему мнению об ущербности другой стороны.

Версии о том, что «политики — невежды» и «разработчики — мечтательные простофили», можно смело исключить из списка плодотворных гипотез. Теория о «сверхразработчике» тоже по своей сути неконструктивна. Она льстит самолюбию создателей моделей, но при этом никаких объективных критериев, подтверждающих «сверхуровень», не существует. Плохо и то, что человек, которому не повезло уродиться «сверхразработчиком», никогда не сможет им стать. Тогда зачем прилагать усилия и совершенствоваться в профессии?

Остались три версии: «две разных культуры», «последовательность обучения» и «проблем на самом деле нет». Две из них не так уж сильно отличаются друг от друга — обе предполагают, что существуют методы и приемы, чтобы ускорить процесс обучения и сделать миры политики и моделирования ближе друг к другу. (В следующей части мы перечислим некоторые из методов.) Версия о том, что проблем на самом деле нет, цинична и по сути, и по формулировке: все стремятся к удовлетворению лишь собственных, узких, эгоистичных интересов.

Но ее можно преобразовать в положительную гипотезу — раз удается достичь личных целей, значит, моделирование можно эффективно использовать, чтобы помочь сложным системам работать лучше. Разработчики и заказчики могут достичь любой цели, какую только поставят. Основная проблема теперь в том, что их *ожидания* предполагают, что моделирование не сможет принести существенную пользу в решении реальных проблем.

Все три версии напоминают нам: практически применимое моделирование, как и действенные управленческие решения (сюда можно добавить любой творческий и полезный вид деятельности человека) — это непрерывный, постоянно меняющийся процесс экспериментирования, который всегда можно доработать и улучшить.

Настало время поговорить об улучшениях.

Ссылки на источники

[1] *Clarke T.* The Last Caravan. New York: G.P. Putnam's Sons, 1977. C. 182.

[2] *Picardi A.C.*, письмо для адресата: *Clarke T.* 1978. 4 мая.

[3] Примеры успехов и провалов в моделировании на уровне принятия конкретных мер приводятся в книге: *Greenberger M., Crenson M.D., Crissey B.L.* Models in the Policy Process. New York: Russell Sage Foundation, 1976.

Часть V

Рекомендации и улучшения

Основная проблема не в том, чтобы понимать и объяснять законы объективного мира, а в применении знания этих законов для изменения мира.

Мао Цзэдун
«О практике»

Когда область, в которой работают сотни высококвалифицированных специалистов, крутятся миллионы долларов бюджетных денег и делаются авторитетные заявления о серьезных политических проблемах, годами работает ниже своих возможностей, люди это замечают. Более того, они начинают предлагать советы, как сделать работу более эффективной. Советы могут быть самыми разными, от «забудьте обо всем, что сделано» до «поддержите и профинансируйте это направление, чтобы продемонстрировать его настоящий потенциал». В этой части книги мы собрали, упорядочили и прокомментировали некоторые рекомендации в области анализа социальных систем, которые предложили сами специалисты, работающие с моделями.

Глава 16 собрала вполне здравые предложения по улучшению. Если бы специалисты по моделированию их применили, это наверняка увеличило бы полезность, эффективность, точность систем, улучшило бы понимание и способствовало успешной реализации проектов в нашей области. К сожалению, разработчики часто высказывают подобные пожелания, но редко им следуют.

В главе 17 глубже рассматривается это интересное явление: замечательные советы, которым никто не следует. Мы затронем философскую основу самой идеи моделирования социальных систем, чтобы разобраться, какие устоявшиеся в обществе взгляды и предрассудки приводят к столь слабому влиянию моделирования на реальную жизнь. Речь пойдет не только об укоренившихся в обществе представлениях о компьютерах и моделях, но и о стереотипах в восприятии естествен-

ных и социальных наук, политики и, следовательно, самого общества как целого.

Анализ любой парадигмы, лежащей в основе профессиональной дисциплины (не говоря уж об обществе в целом) — дело неблагодарное и временами даже опасное. Все, что касается представлений общества о самом себе, может вызывать замешательство, сопротивление, гнев и неприятие. К такой реакции надо быть готовыми, она неизбежна при любых серьезных изменениях, касается ли это профессиональной деятельности или развития общества. Мы сознательно пытаемся добраться до глубинных основ моделирования социальных систем, и нас поддерживает в этом стремлении то, что и многие другие ведут подобный поиск. На их работы мы ссылаемся на протяжении всей главы 17. Профессиональная область моделирования социальных систем сейчас изучает саму себя, и мы считаем ее достаточно сильной, чтобы она могла использовать все новые открытия для преобразования и самосовершенствования.

16
ГЛАВА

Список предложений для улучшения

Все, кто работает с моделями, прекрасно осознают, что положение дел в этой области могло бы быть лучше. Многие из них пишут убедительные статьи и издают книги, в которых высказывают сожаление о том, какие именно методы применяются на практике, и говорят, что следовало бы предпринять, чтобы изменить ситуацию. Мы сделали подборку основных жалоб и предложений, использовав в качестве источников внушительное количество профессиональной литературы. Некоторые цитаты очень красноречивы и показывают, что разработчики тоже испытывают чувство неудовлетворенности и неуверенности; многие из них ощущают, что надо что-то делать. Иногда (когда не удалось удержаться) мы добавляем и свои комментарии к списку. Он довольно длинный, поэтому по каждому пункту будет сказано всего несколько слов. Девять моделей уже достаточно хорошо проиллюстрировали все то, что войдет в этот список...

Все жалобы и предложения мы упорядочили и разбили на три группы.

1. *Проблемы с уровнем знаний* — сложности с теориями, подбором данных, идеями и понятиями, с которыми работают создатели компьютерных моделей.
2. *Организационные проблемы* — сложности с финансированием проекта, обеспечением его всем необходимым (включая место для работы специалистов), с представлением результатов широкой публике.
3. *Проблемы реализации на практике* — все, что связано с повседневной работой тех, кто непосредственно создает модели.

Многие пункты в нашем списке спорны, а некоторые даже противоречивы. Мы попытались отследить те сферы нашей профессии, где назрел внутренний конфликт. Сам факт появления такого списка спровоцирует среди разработчиков жаркую дискуссию о том, какие из предложений заслуживают интереса и какие из них важнее. Мы сами одобряем далеко не все из предложений. Они включены в книгу

не как призыв, а как показатель состояния нашей профессиональной области, чтобы посмотреть, как можно улучшить моделирование.

16.1. Проблемы с уровнем знаний

Жалоба

Данные неадекватны.

Чем сложнее изучаемые системы и чем дальше последствия от принятия решений простираются в будущее, тем больше данные становятся ключевым лимитирующим фактором[1].

Проблемы с данными переписей и управленческой информацией состоят в том, что моделям нужен более высокий уровень точности. Его не стоит ожидать от результатов переписей, а оперативные данные редко приводятся в стандартных единицах измерения. Их нет для сравниваемых областей, за сопоставимое время и т. д., даже в пределах одного и того же города. Что уж говорить о сравнении разных городов...[2]

Предложения по улучшению

1. Правительства стран, представители бизнеса, учебные заведения и научно-исследовательские институты должны располагать более обширными базами данных, подчиняющимися единым стандартам.

«Данные, только данные и ничего кроме данных». Мы хотим знать о своем обществе все больше и больше, к тому же возможности науки и ученых по сбору информации и преобразованию ее в пригодный для использования вид постоянно росли за последние десятилетия. Проблема с этим обилием данных в том, что часто их нельзя использовать совместно, потому что они не ранжированы по единой шкале и даже собирались не по единой методике. Пока в области сбора данных не будут установлены стандарты, проблема никуда не исчезнет[3].

Но при этом надо помнить, что:

«Финансирование баз данных и банков информации следует внимательно оценивать. У США уже есть практический опыт, который показал, что чрезмерное накопление информации без конкретной цели или задачи оказывается крайне неэффективным» [4].

---

2. И разработчики, и стороны, финансирующие проекты, должны признать, что на сбор данных следует отводить больше ресурсов.

Во всех полномасштабных моделях ключевой фактор — количество ресурсов, направленных на сбор информации и подготовку данных к использованию. По опыту нашего консультанта, например, не менее 20% затрат на применение моделей, описывающих использование земли, непосредственно связано со сбором данных. При этом обычно от 45 до 50% средств затрачиваются на этапах до того, как начинается собственно анализ. Проблемы со сбором информации существенно ограничивают области, где могут применяться модели. Использование моделей, требующих большого количества начальных данных, будет возможно только в том случае, если исследование очень обширно и хорошо финансируется или если существует насущная потребность в анализе. Только тогда будет обеспечиваться достаточный уровень поддержки[5].

3. **Разработчики, социологи или математики должны придумать новые способы предупреждения о недостаточности данных или научиться обходить такие препятствия.**

Я считаю, что сложность некоторых социальных механизмов для моделирования не может служить достаточным оправданием того, что их просто упускают из рассмотрения. Ведь тогда подобные механизмы считаются не имеющими никакого влияния, а на самом деле это не так. Принять любую мало-мальски правдоподобную гипотезу в подобной ситуации будет лучше, чем игнорировать существование механизма вообще. Однако это не значит, что гипотезу нужно заложить в модель как есть и спрятать ее в глубины программного кода, словно никаких неясностей не существует...

Я бы предложил использовать в таких случаях *программные флажки*, отмечая ими все места, где могут сказываться дополнительные ограничения. Это лучше, чем вводить в систему сомнительные *причинно-следственные связи*. Отмеченные флажками параметры при необходимости можно варьировать в ходе дальнейших расчетов, изучая систему в самых разных условиях и не ограничиваясь парадигмой исключительно численного моделирования[6].

4. **Разработчики должны использовать выборки и наблюдения, специально созданные для целей каждой конкретной модели.**

Данные можно собирать под конкретную изучаемую проблему, сохраняя при этом желаемый уровень точности. На самом деле, многие руководители считают, что «единственный способ получить данные по разумной цене — применить научно разработанный и методически обоснованный метод отбора необходимой информации» [7].

5. **Разработчики должны тщательнее документировать данные, используемые в каждой модели, чтобы данные, собранные другими, можно было класть в основу собственных исследований.**

Проблема с данными стоит очень остро, и не надо изобретать велосипед, чтобы улучшить положение дел. Мы не только должны поддерживать друг друга и делиться информацией, которую удалось «накопать», но и обязаны четко указывать, когда и почему мы отклонили неприемлемые данные, из-за чего сочли их бесполезными. Это избавит других от лишних поисков[8].

6. Создатели моделей должны использовать любую доступную информацию, включая качественные оценки, и даже то, что подсказывает интуиция.

Если для предсказания будущего нам нужна информация о прошлом, которой у нас нет, можно взять за основу аргументированную догадку о прошлом — скорее всего, это улучшит представление о будущем. Поэтому отсутствие официальных данных о любом элементе в системе не должно приводить к его исключению — можно просто брать его примерную оценку. Иначе нам придется оставить все социальные исследования за отсутствием подтвержденных данных. Это вовсе не означает, что мы преуменьшаем проблему с неточностью и неадекватностью данных, которая так донимает социологов. Просто это не повод прекращать попытки упорядочить хотя бы те знания, что у нас есть, в единую непротиворечивую структуру[9].

7. Разработчики должны проверять модели на чувствительность к изменению всех неточно заданных параметров, чтобы выяснить, какие именно данные имеют критическую важность.

Что касается нехватки данных и/или знаний о взаимосвязях, самое важное — признать, что любое общество должно принимать решения с оглядкой на это, что с моделями, что без них. Кроме экспертных мнений, для определения вероятных связей нужно тщательно изучать чувствительность моделей к переменным и проводить многократные расчеты для разных гипотез, покрывая весь диапазон возможных значений[10].

Жалоба

Социальные теории неадекватны.

Мы предполагали, что демографы создали причинно-следственную модель, чтобы учесть временные изменения рождаемости в зависимости от половозрастного распределения, экономисты разработали модели, объясняющие бизнес-циклы, инженеры по транспорту и энергии описали душевое потребление энергии за год..., эпидемиологи смоделировали зависимость смертности от возраста с учетом загрязнения окружающей среды... Мы думали, что единственная задача, стоящая перед разработчиками, заключается в том, чтобы найти эти модели — снять их готовыми с полки и сразу начать использование... Но оказалось, что таких частных моделей во всех предметных областях просто не существует...[11]

Предложения по улучшению

Разработчики должны разрабатывать теории, а не просто механически собирать свои системы из чужих теорий.

Если создатели моделей вынуждены ждать, пока теорию разработают другие ученые, время на моделирование увеличивается. Решить проблему можно, если разработчики будут стимулировать другие группы в научном сообществе для создания теории, которая нужна для модели. Общепризнанный факт: в процессе создания моделей выявляются пробелы в теоретических познаниях. Это можно и нужно использовать[12].

Жалоба

Инструменты и методы моделирования неадекватны.

Чтобы подойти к проблемам загрязнения воздуха, реконструкции городов, профессиональной реабилитации или юридической справедливости, необходимо исследовать «систему», которая появилась не по плану, без конкретных целей. Ее проявления могут быть запутанными и противоречить друг другу. При этом власть может проявлять нерешительность, ее ветви могут перекрывать свои функции, преследовать разные собственные цели. Сбор данных затруднен. Сам факт исследования может привести к искажению данных. Линейное программирование, теория очередей и массового обслуживания, статистика и компьютеры, как и раньше, приносят огромную пользу, однако обычно это касается частных проблем, а не ключевых вопросов о системе как едином целом[13].

Предложения по улучшению

Разработчики должны больше думать, а не слепо полагаться на свой инструментарий.

В тех областях знаний, где существует давняя традиция и история размышлений, привнесение новых инструментов и методов обычно открывает направления исследований, которые раньше не были доступны. В новых же областях мы часто сталкивается с явлением «инструментализма» — этому недугу подвержены все системные аналитики и исследователи процессов, по крайней мере, частично. Те, кто им заразился, одержимы любыми новыми инструментами и методами… Они постоянно выискивают проблемы, к которым можно было бы применить свой арсенал[14].

16.2. Организационные проблемы

Жалоба

Финансирование моделирования недостаточно и распределяется неправильно. Средства перечисляются нерегулярно, они слишком при-

вязаны к сиюминутным политическим интересам. Спонсоры хотят вложить мало, а получить много. Ожидания тех, кто финансирует проекты, всегда завышены.

На полномасштабные исследования, направленные на совершенно новые и очень сложные задачи, выделяются внушительные, но все равно заведомо недостаточные средства, если сопоставить их с заявленными целями. При этом ожидается, что новая государственная программа или политика будет представлена публике и положительно оценена сразу же по истечении срока гранта... Те члены команды, которые считают себя хорошими специалистами и думают, что смогут хорошо работать в таких условиях, вскоре начинают испытывать большое искушение сменить работу, потому что будущее финансирование совершенно не гарантировано, к тому же спрос на их услуги всегда есть в других областях, обеспечивающих более стабильные условия[15].

Предложения по улучшению

1. Правительственным кругам, представителям бизнеса и финансирующим организациям нужно увеличивать бюджеты, отводимые на моделирование, особенно если необходимо вести работы от начала и до конца — от сбора данных к построению модели, а затем к ее регулярному обновлению.

Нужна поддержка непрерывным проектам по моделированию, занимающим продолжительное время, чтобы ряд хорошо проработанных, подтвердивших свою ценность моделей поддерживался в готовности. Тогда их можно будет применять к разным проблемам по мере необходимости, по одной или в сочетаниях. И держать их надо не в «магазине моделей», управляемом властями, а в учебных заведениях, исследовательских центрах, специально организованных институтах, объединяющих мир науки и политики. Модели должны жить и развиваться, чтобы их можно было использовать многократно. Их нужно поддерживать в актуальной форме, модифицировать при необходимости. Моделям нужно придать статус, который защищал бы и обеспечивал их существование[16].

2. Фонды, финансирующие моделирование, должны делать упор на фундаментальные, а не на прикладные исследования.

Основополагающих исследований и фундаментальных знаний остро не хватает. Основная масса моделей, имитационных программ и игр существует за счет очень скупых интеллектуальных вложений в фундаментальные знания... Представления об исследованиях, сложившиеся у финансирующих организаций и разработчиков в области моделирования, надо обязательно менять. Исследования настолько запятнали себя конъюнктурщиной, что едва ли кто-то поверит в спонсирование чисто теоретического проекта. При этом потребность в фундаментальных исследо-

ваниях настолько велика, что, если не найдутся другие источники финансирования, нам придется одобрить план по снижению значительной доли затрат на модели, имитации и игры, чтобы направить освободившиеся средства на основополагающие исследования[17].

3. Политики должны изучать элементарные основы моделирования, чтобы иметь реалистичные ожидания.

Политикам надо больше знать о моделях и о том, на что они способны, а на что нет. Лица, принимающие решения, сами частично ответственны за постигающее их разочарование. Они должны позаботиться о том, чтобы для моделирования политических систем была создана более здоровая обстановка[18].

4. Разработчики должны делать модели, которым достаточно минимальной поддержки.

Вместо того чтобы собирать большие группы специалистов, работающих в изматывающем режиме несколько лет, использующих арендованную вычислительную технику, создающих чрезвычайно сложную модель, напичканную огромным количеством данных, в условиях, когда долгосрочного финансирования нет и даже на публикацию результатов бюджет не выделен, нам следует создавать маленькие команды (до 4 человек), работающие на постоянной основе, на протяжении многих лет, на специально приобретенных компьютерах, и создающие простые процессно-ориентированные модели, требующие минимума данных. Работа должна вестись в одной и той же организации, с финансированием на годы вперед и с предусмотренным отдельным бюджетом на представление результатов политикам и широкой публике на понятном им языке[19].

Жалоба

Научные структуры намеренно препятствуют системному анализу и междисциплинарным исследованиям, направленным на решение проблем.

В большинстве университетов для факультетов, вовлеченных в междисциплинарную работу, не предусмотрены поощрения и дополнительные возможности финансирования. Большинство участников подобных работ ведут их на свой страх и риск, что может отрицательно сказаться на продвижении в основном профессиональном направлении[20].

Предложения по улучшению

Университеты и агентства, которые финансируют научные исследования, должны устанавливать правила, по которым вознаграждa-

лись бы и междисциплинарные изыскания, и обучение системному анализу.

Рекомендации Национальной академии наук США и Национальной академии инженерно-прикладных наук:

«Необходимо изучить вопрос, как организовать систему вознаграждений в университетах, чтобы она поощряла междисциплинарные исследования и проекты, ориентированные на практическое применение. Следует изучить риски, связанные с прогрессом в научных областях, рассмотреть возможность их финансовой и профессиональной компенсации. Организационные механизмы должны быть выстроены так, чтобы стимулировать междисциплинарные и прикладные исследования» [21].

16.3. Проблемы реализации на практике

Жалоба

Модели слишком сложны.

Хотя у чрезмерного упрощения модели есть нежелательные последствия, обычно оно того стоит. Сложные формулы или взаимосвязи, настолько «навороченные», что их нельзя свести к единому выражению, в итоге чаще всего не содержат никакого смысла, в то время как простую зависимость понять можно. Одна грубая ошибка может сделать сложное уравнение в корне неверным, и из-за избыточной сложности найти ее будет нельзя. В простых выражениях подобная ошибка быстро себя выдаст, потому что при прозрачных взаимосвязях проще интуитивно оценить, правдоподобно ли поведение системы. Убедительнее всего такие исследования, в которых может разобраться обычный человек, не имеющий специальной подготовки[22].

Разработчиков с обычными людьми роднит одна общая черта: когда они не понимают суть проблемы, то начинают добавлять в систему всё, на что падает взгляд. При этом предполагается, что где-то в этой мешанине скрываются ответы на вопросы. Проблема в том, что выводов из этого никто не делает, и с новыми проблемами опять поступают так же[23].

В некоторых областях использование больших, полностью компьютеризованных систем и имитационных моделей совсем не обязательно дает преимущество... Большие модели обычно слишком сложны, их создание и применение обходятся дорого, на работу и интерпретацию результатов нужно время. В их защиту сложно подобрать обоснованные аргументы. На таких системах моментально сказываются любые отклонения в постановке целей, изменения в коллективе специалистов. В результате документация составляется плохо, в логике остаются зияющие бреши, начинаются сложности с формированием баз данных, их наполнением и проверкой достоверности[24].

Предложения по улучшению

1. Финансирующим организациям не стоит спонсировать большие модели.

Мы рекомендуем установить более строгие стандарты для полномасштабных систем, имитационных моделей и игр, чем для небольших проектов. Мы уверены, что большие системы обладают меньшими возможностями по отработке сценариев и других факторов, численное определение которых затруднено. Имеющиеся средства лучше направлять на фундаментальные исследования, чем на преждевременное создание слишком сложных и объемных компьютерных программ[25].

2. Разработчики моделей должны давать выверенное и точное определение изучаемой проблеме и использовать его, чтобы сделать систему проще.

Пытаться сделать модель, которая учитывает все аспекты сложной проблемы одновременно, — большая ошибка. Разработчика тогда непременно будут критиковать за какие-то упущенные детали. Противостоять этому можно только одним способом: понять, что модель формируется в зависимости от поставленного вопроса, отображаемого процесса. Если создатель модели не обращает внимания на вопрос, то лишается инструмента для выбора, чтобы определять, что включить в систему, а что оставить за ее пределами. Тогда у него нет конкретных целей и нет возможности решить, что имеет значение, а что нет. В результате он может отвечать на критику только дальнейшим увеличением и усложнением модели[26].

Мы заключили, что эффективным будет следующий порядок исследования... Часть времени, выделенного на проект (до $^1/_4$), нужна для того, чтобы дать проблеме определение, без привязки к тому, насколько хороши те или иные аналитические методы. Ведь если проблема определена неверно, то результаты все равно не будут иметь никакого значения. Выбор проблемы не должен делаться наугад до начала исследования, а быть составной частью проекта[27].

3. Создатели моделей должны изучать их «от общего к частному», а не наоборот.

Чтобы начать работу, в большинстве случаев лучше выбирать подход «от общего к частному». Начинать следует с представления о рынке, деятельности компании и т. п., используя обобщенные параметры и рисуя картину в целом, глядя сверху вниз. Затем, если потребуется более детальная информация, некоторые переменные можно разбить на составляющие и дать им более узкие определения. Благодаря такому подходу разработчик в любой момент имеет рабочую модель. Это большое преимущество. Обратный порядок, «от частного к целому», требует тщательного подбора данных и моделирования по всем деталям: семействам продукции, под-

разделениям, сегментам рынка и т. д. Все эти отдельные кусочки затем надо собрать вместе, чтобы получить картину для предприятия в целом. Однако рабочей модель становится далеко не сразу. Часто все заканчивается на том, что ее невозможно отладить, и вообще она чрезмерно подробна для поставленной цели[28].

Господствующая стратегия моделирования состоит в том, чтобы разбить проблему на ряд подсистем, затем каждую из них свести к набору компонентов, пока каждый из них нельзя будет считать подразделом какой-либо науки или направления, доступным для понимания как есть. После того как все отдельные компоненты изучены, фрагменты начинают собирать вместе, кусочек за кусочком. Для анализа используется уже целостная модель. Подобная стратегия разбиения на подсистемы склонна изучать не исходную, главную проблему, а совокупность отдельных проблем меньшего порядка. Достаточный уровень понимания в системе в совокупности недостижим, и модели никогда не становятся полностью интегрированными и целостными[29].

Жалоба

Модели недостаточно соответствуют реальному миру. Разработчики упускают много важных факторов, определяющих поведение реальных систем.

Вместо того чтобы служить инструментом для открытия нового, системный подход занял реакционную позицию. Проблемы определяются в зависимости от возможных инструментов, и в результате системный анализ поощряет постоянное отрицание факторов и параметров, которые могут быть критически важными для его проведения и улучшения. Для основной массы социальных проблем, даже тех, которые в большой степени относятся к технологии, те аспекты, кто касаются технической обработки, имеют меньшее значение, чем те, что относятся к культуре, ценностным понятиям и сетям политической власти[30].

Предложения по улучшению

1. Разработчикам стоит уделять больше внимания проблеме и тому, что важно для ее определения, а не параметрам, доступным для измерения, или потенциально применимым методам.

Аналитики склонны проявлять больший интерес к модели, чем к собственно проблеме... Самая серьезная проблема количественного анализа состоит в том, что мы пытаемся численно оценить и внести в модель всё, что только можно, а не то, что важно и нужно[31].

2. Разработчики должны быть очень осторожны с заменой показателей, которые сложно численно оценить, на измеряемые.

Первичные цели обычно сформулированы туманно и нечетко. Самая частая ошибка — использовать то, что можно измерить, не учитывая, информативен ли такой показатель. В итоге средства тратятся на измерение эффективности, хотя при этом смысловое содержание показателей очень сомнительно. Например, расходами на одного ученика оценивается эффективность общедоступного образования, временем прибытия на вызов характеризуется эффективность работы скорой помощи, а рост цены на наркотические вещества отражает эффективность работы отделов по борьбе с наркотиками[32].

3. **Создатели моделей должны рассматривать различные варианты структур. Проверять надо не только разные значения параметров, но и разные варианты структур.**

Чтобы подойти к проблеме правильно, нужно быть готовым работать с альтернативными вариантами системы, а не с одной моделью и одним набором данных. Множественность вариантов структуры для модели не следует воспринимать как требование начального этапа — дескать, затем из всей массы будет выбрана одна, «правильная». Разные структуры должны быть *необходимым условием* в любом проекте по моделированию, который нацелен на улучшение нашей способности работать с проблемами реального мира... Как бы точно модель ни воспроизводила фактическое поведение за прошлые периоды, какими бы очевидными ни были предположения в ее основе и какими бы они ни казались заказчикам и разработчикам, адекватность модели может быть определена только в сравнении с альтернативными вариантами[33].

Жалоба

Создатели моделей не учитывают опыт предшественников и не опираются на их результаты. Из-за этого в отрасли не происходит накопления опыта и знаний, поскольку они не фиксируются, не передаются другим специалистам и не подвергаются критической оценке.

Иногда недостаточность документации просто убивает. Как правило, ею пренебрегают из-за безумной спешки — все хотят получить «работоспособную» модель как можно быстрее. Но с каких это пор ведение отчетов препятствует прогрессу? Когда же мы прекратим изобретать велосипед?[34]

При разработке системы и имитационном моделировании меньше всего внимания уделяется документированию. В какой-то степени потому, что это нетворческая, неинтересная работа... Большинство людей находит ее неприятной, она ассоциируется с уборкой и наведением порядка[35].

Профессиональных стандартов на построение моделей не существует. Подготовка документации и упорядочивание исходных данных находятся

на таком примитивном уровне, что в это трудно поверить. Особенно это характерно для тех моделей, к разработке которых в качестве консультантов привлекаются политики[36].

Предложения по улучшению

1. Те, кто финансирует проект, должны настоять на принятии некоей стандартной формы документации.

Если бы внушительную часть суммы по контракту придерживали до тех пор, пока не будут соблюдены требования по оформлению документации, произошло бы вот что: документации было бы больше, она стала бы лучше по качеству и более полезной в использовании; исполняемые модели были бы тщательнее проработаны; остались бы письменные свидетельства о ведении проекта; модели можно было бы лучше представлять публике и заказчикам, проще использовать с образовательными целями. Вероятно, тогда и работы завершались бы вовремя, и результаты были бы понятнее и лучше подходили бы для практического применения[37].

Прежде чем взяться за создание модели, разработчик и пользователь должны прийти к единому мнению об определении проблемы и цели всего проекта с учетом имеющихся ресурсов. Также они должны определить приемлемый уровень достоверности и точности модели. Наконец, нужно принять требования к документации... Чтобы процесс моделирования продвигался как положено, финансирование должно осуществляться частями, в зависимости от выполнения требований и успешного завершения каждого этапа[38].

2. Разработчики должны заранее отводить примерно половину ресурсов проекта на документирование и представление модели заказчикам и другой аудитории.

На создание документации нужно направлять столько же средств, сколько на разработку самой модели. В принципе, любые разработчики программного обеспечения могут принять такую пропорцию за основу. Если признать, что процесс решения проблемы важнее, чем какой-либо отдельный результат, из этого автоматически следует, что на ведение записей о процессе следует выделять столько же ресурсов, что и на разработку итогового продукта... В будущем нужно выделять на документацию не менее половины суммы, отводимой на любой проект, связанный с компьютерными исследованиями[39].

3. В журналах и дневниках следует применять стандарты документирования, они должны обеспечить доступность уравнений по всем опубликованным результатам, чтобы их мог воспроизвести любой исследователь, которого заинтересует этот вопрос.

Публиковать следует только те модели, которые сопровождаются подтверждениями их адекватности и по которым представлена документация. Эти данные должны быть доступны для анализа другими специалистами и оценки пользователем[40].

4. Правительственные круги, профсоюзы или университеты должны содержать библиотеку или информационный центр, где хранились бы модели, программы и программные модули.

Идея создать информационный центр по моделированию настолько логична и естественна, что ее предлагали многие — и разработчики, и другие специалисты... К примеру, в числе услуг такого центра были бы: ведение сводного каталога, содержащего названия моделей и источники, где можно было бы получить информацию по ним; хранение документации; проверка и сертификация моделей. Это могут быть и простые картотеки, и компьютерные базы данных с системами поиска. Затраты на это несли бы либо пользователи, либо агентства, распределяющие гранты[41].

Большинство опрошенных нами специалистов высказались за разработку и стандартизацию процедур, используемых при моделировании. Они видят в этом способ уменьшить расходы и сократить время на создание. Возможно, это позволит также улучшить совместимость между разными моделями... Но есть и принципиальные возражения:

— Это не нужно, поскольку такие процедуры уже есть...

— Разнообразие моделей означает, что общий порядок все равно придется дорабатывать под каждую из них. Различное компьютерное оборудование потребует для себя разных версий таких процедур... Поддержание актуальности автоматически влечет за собой необходимость постоянного обновления.

— Жесткие правила повредят гибкости моделей и будут ограничивать творческое начало разработчиков[42].

Комментарий авторов

У нас есть собственное мнение насчет библиотек, где хранились бы составные части моделей, чтобы другие разработчики могли ими воспользоваться. Это усилило бы все проблемы с излишней сложностью, механистичностью моделей, недостаточной строгостью, их несоответствием реальным системам. Идея того же порядка, что и создавать библиотеки готовых живописных фрагментов для художников или заранее написанные абзацы текста для писателей...

5. Агентства, финансирующие проекты, должны распределять среди разработчиков средства на представление их систем широкой публике.

Есть несколько способов, которыми агентства, распределяющие средства на проекты, могли бы поощрять публикацию и представление результатов:

а) потребовать, чтобы ведущие исследователи во всех новых проектах выделили по несколько дней на каждый из них и определили общие области и точки соприкосновения между разными моделями;
б) установить темы, играющие основную роль в большинстве региональных проектов по моделированию, и спонсировать проведение раз в полгода семинаров, чтобы исследователи знали, кто над чем работает и чего добился;
в) популяризировать содержание новых работ на соискание ученой степени в области моделирования, проводя специальные семинары и презентации диссертаций, поскольку именно ученые, настоящие и будущие, представляют собой основу прогресса в этой отрасли науки.

Жалоба

Модели плохо тестируются, их редко подвергают оценке.

Многие встроенные в них механизмы никак не проверяли на соответствие реальности. Не только их эмпирическая основа сомнительна (имеет место то нехватка эмпирики), но и не предпринималось никаких усилий, чтобы собрать недостающие данные или уточнить слабо обоснованные значения. Даже анализ чувствительности соответствующей экспериментальной структуры не проводился. Отсутствие проверки чувствительности ведет к недостоверной оценке начальных параметров модели. И ни один из этих вопросов серьезно не изучался! Вероятность того, что был проведен тест чувствительности, не более 50%, и даже если его проводили, очень часто результаты просто не записывают[44].

Предложения по улучшению

1. **Правительства или финансирующие организации должны устанавливать четкие правила для оценки адекватности и достоверности моделей.**

На правила проверки достоверности возлагали надежды как на способ отсечь плохие модели и дополнительно подтвердить качественность хороших. Основное преимущество… должно быть в универсальности критериев, ведь тогда результаты можно будет сравнивать между собой.

Однако при этом правила проверки могут подкрепить опасения, что правительство вмешивается в науку. Потребность в единообразии стандартов сделает их либо слишком нетребовательными (а значит, не выполняющими свою задачу), либо применимыми не ко всем моделям. Более того, они могут зарубить на корню перспективные направления, если те

будут вступать в противоречия с правилами и станут ограничивать поддержку исследований. Наконец, существует устоявшееся мнение о том, что модель должна быть хороша настолько, насколько этого требует цель ее использования, и тогда лишь пользователь может вырабатывать соответствующие правила[45].

2. Разработчики или финансирующие организации должны отправлять модели для тестирования в независимое агентство.

Мы предлагаем создать новое направление в исследовательско-практической деятельности — анализ моделей. Этим должны заниматься высококвалифицированные специалисты, имеющие практический опыт и научную подготовку для проверки моделей, разработанных другими сторонами. В ходе такого анализа будут проверяться чувствительность, определяться точки воздействия, проверяться сомнительные предположения, отслеживаться основания для заключений, анализироваться последствия от предлагаемых изменений и стратегий, упрощаться сложные модели без искажения их ключевых поведенческих характеристик[46].

Должен проводиться анализ модели с привлечением сторонних разработчиков, пользователей и отдельных специалистов, имеющих опыт в междисциплинарных исследованиях[47].

Чтобы оценить систему и ее полезность, профессиональные разработчики обращаются к людям, чье мнение считается авторитетным, чтобы узнать мнение о модели в целом. Они прекрасно знают, что если модель, в которую вложено столько лет работы, действительно выполнена на высоком техническом уровне, то и ученому, и инженеру очень сложно найти в ней слабые места[48].

3. Разработчики должны тестировать *каждую часть* модели на соответствие реальному миру, а не только поведение модели в целом.

Самый строгий метод проверки — подробное сопоставление результатов модели с данными, накопленными за предыдущие периоды, или с экспериментально измеренными значениями в реальной системе, когда на вход в модель заложены фактические данные. Чтобы такой метод дал результаты, его надо применять к подсистемам и модулям каждой модели или ее составным частям, а не к модели в целом. В противном случае, если расхождение проявляется впервые, очень сложно отследить, какое именно уравнение или численное значение среди огромного количества вариантов требует корректировки. Если модель проверяется путем сравнения поведения каждого отдельного участка с поведением соответствующего фрагмента реальной системы, то будет заведомо исключена ситуация, когда отклонение в одном участке системы не устраняется, а компенсируется отклонением в другой подсистеме[49].

4. Создатели моделей должны сопоставлять результаты с реальным миром, а не с искусственными правилами или формулами.

Если для выбора того или иного варианта используется модель или математическая формула, то основное внимание разработчика моментально сосредотачивается на том, чтобы его вариант выглядел хорошо с точки зрения аналитического определения, а не с точки зрения соответствия реальности, ведь добиться последнего гораздо труднее.

Чарльз Дж. Хитч, когда еще был министром обороны США, приводил в качестве пояснения аналогию из жизни яхтсменов. Организации любителей яхтного спорта выработали ряд правил по предоставлению гандикапа судам разного класса. Цель была в том, чтобы владельцы разнотипных судов могли соревноваться друг с другом, включая яхты, предназначенные для простых прогулок под парусом. Правила строились на эмпирической основе и учитывали величину корпуса судна, площадь парусности и другие параметры... Но стоило только их установить, как создатели яхт тут же тщательнейшим образом их изучили и построили новые, более быстрые типы судов. Так появились яхты, совершенно не приспособленные для прогулок под парусом, но зато очень быстрые и при этом полностью соответствующие букве правил. Но не их духу. С точки зрения практики это не суда, а сплошные недоразумения — никто не стал бы их строить, если бы не было таких правил[50].

5. Правительства или профсоюзы должны сертифицировать не модели, а их разработчиков.

Посмотрите на медицину: врачи должны проходить сертификацию, чтобы получить право практиковать. При этом они несут ответственность за пациентов. Такой же принцип должен использоваться и для присвоения квалификации разработчикам моделей. То, что происходит сейчас, когда к моделированию допускают неопытных и недостаточно квалифицированных людей и те пишут программы, которые якобы улучшают управление, просто недопустимо[51].

Столь длинный список предложений по улучшению, поступивших от самих создателей моделей, одновременно и вдохновляет, и разочаровывает. С одной стороны, в нем прослеживаются хорошая доля самокритики и призывы к большей ответственности разработчиков, да и других участников тоже. С другой — большинство из тех, кто с созданием моделей никак не связан, сразу же укажут на пункты, нацеленные на преимущества для разработчиков, и также на отсутствие по-настоящему критических замечаний, которые порой можно услышать со стороны и которые зачастую выражены в весьма циничной форме...

Проблемы с уровнем знаний — универсальное оправдание разработчиков, способ переложить вину за плохое качество моделирования

с себя на состояние науки в целом. Но при этом удивительно большое количество предложений относится к вещам, которые разработчики вполне могут улучшить. Хотя практически каждый создатель модели не упускает случая поворчать насчет качества данных (и такие проблемы действительно есть), при этом мало кто из разработчиков укажет на них как на *главное* препятствие в развитии моделирования как предметной области. А вот применительно к своей модели, находящейся в разработке, на отсутствие хороших данных принято пенять как на серьезное ограничение. Создатели компьютерных моделей должны использовать всю информацию, теории и инструменты, какие только есть в их распоряжении. Базы данных и знаний представляют собой новый материал, на котором основывается моделирование. Если разработчики прекратят жаловаться и создадут действенные способы работы с тем, что есть в наличии, они улучшат и усовершенствуют весь процесс моделирования и успешно обойдут часть ограничений. Большинство специалистов это признают и уже прилагают усилия к тому, чтобы преодолеть проблему с уровнем знаний.

На *организационные проблемы*, как и на проблемы с уровнем знаний, тоже любят жаловаться, потому что они лежат за пределами ответственности разработчиков. Проблемы действительно есть, некоторые и вправду не зависят от создателей моделей, а некоторые другие уходят корнями в те времена, когда взаимодействие между разработчиками и организациями только зарождалось. Какими бы ни были причины, создатели моделей осознают, что в краткосрочной перспективе организационные проблемы решить или хотя бы сдвинуть с места нельзя — как, собственно, и проблемы с уровнем знаний. В списке есть предложения использовать максимально конструктивный подход в общении с организациями, строить отношения в духе сотрудничества и закладывать тем самым более дружественную среду для моделирования в будущем.

Разумеется, ни один создатель модели не предложил, чтобы все перестали делать вид и начали откровенно гнаться за деньгами, властью или карьерным ростом. Никто не стал заявлять, что инструменты моделирования доступны только избранным, посвященным в таинство, что они заставляют отринуть все человеческое и навсегда меняют личность и душу любого, кто прикоснулся к этой области. Не говорили и того, что вся сфера моделирования настолько математически условна и искусственна, что ее никогда нельзя будет применять для практических целей. Вряд ли хоть кто-то из разработчиков так думает. Однако за несколько десятилетий уже накоплен опыт социального применения вычислительных инструментов, и мало кто даже из обычных людей, не связанных с моделированием, имеет подобные взгляды. Большинство чувствует, что у этой области знаний есть потенциал, поэтому основная масса предложений направлена на улучшение, а не на отказ от имеющихся инструментов.

16.4. Чем ценны рекомендации

Вся наша книга основана на предположении о том, что область моделирования можно улучшить. В первую очередь это могут сделать сами разработчики моделей, изнутри, поэтому давайте перейдем к некоторым советам в этом направлении. Эти рекомендации можно считать выводами из приведенного в предыдущей главе списка. Мы их логически упорядочили и сделали основной упор на практически реализуемые меры. Наш собственный опыт подсказывает, что это основной путь к использованию всех возможностей моделирования. И мы подчеркиваем, что это именно *рекомендации*, а не правила. Есть лишь четыре общих положения — настолько общих, что их все-таки можно считать правилами. Все же остальные — просто пожелания и добрые советы.

1. *Делайте то, что необходимо*. Ни одно правило неприложимо ко всем ситуациям на свете. Методы, лучше всего подходящие для одной задачи моделирования, могут оказаться совершенно не пригодными для другой. Все самые серьезные достижения человечества опирались на анализ конкретной ситуации, а не на правило или формулу.
2. *Планируйте применение модели в ходе ее разработки*. Успешное применение практически никогда не начинается в тот момент, когда технические работы по созданию модели закончены. Оно закладывается в проект с самого начала, хотя, разумеется, в ходе работ что-то может меняться, по мере того как понимание становится глубже. Практическое применение модели надо держать в уме постоянно.
3. *Уважайте все стороны, так или иначе связанные с моделью*. Тот, чья должность позволила отдать команду на разработку модели, или тот, кто в состоянии создать ее, обладает достаточной способностью к пониманию, искренностью и профессиональной хваткой и потому заслуживает уважения. Уважение редко возникает «из ничего», и если его нет, то модель, конечно, может быть завершена, но не будет применяться, как было задумано (как минимум, *этим* заказчиком). Другие клиенты ею не владеют и потому тоже применять не будут... Если заказчик или разработчик расценивает вторую сторону в проекте скорее как предмет, а не как человека, совместные действия вряд ли приведут к успеху.
4. *Поддерживайте потребности всех вовлеченных сторон*. Разработчики и заказчики живут в постоянно меняющемся мире, где доминируют краткосрочные потребности и сти-

мулы, где у каждого есть свои интересы — работа, семья, начальство, подчиненные, бюджет, секретари, студенты, научные степени, публикации... Могут играть свою роль даже счета за телефонные переговоры. Если каждая сторона проявит немного понимания и внимания к личным и организационным потребностям остальных, то проект позволит оправдать ее собственные чаяния, а может, и добиться чего-то большего. Подобные пожелания — не излишества, которые напрасно удорожают проект, а необходимые его составляющие. На самом деле, только так и выполняются серьезные работы, и в бизнес-среде все это признают. Организация проекта таким образом, чтобы разработчик получил возможность публиковаться и ему был выделен секретарь, чтобы заказчик смог предоставить начальству отчет о транспортных расходах и провести презентацию новой системы, гарантирует достаточное усердие и внимание к делу, и тогда работа будет выполнена на хорошем уровне. Если же в личном плане никаких вознаграждений нет или если существует профессиональный риск, то работа, скорее всего, не будет сделана вовсе.

Приводимые далее рекомендации приложимы к самым разным задачам по моделированию. Их выполнение приносит наибольшую пользу, если проблема четко определена и точно понятно, кто заказчик. В случаях, когда задача состоит в распространении абсолютно новой идеи среди большого количества людей, все будет не так просто. Когда нет конкретного заказчика, задача разработчика многократно усложняется. Придется тратить собственные силы на то, чтобы оценивать перспективность предприятия и выполнять другие функции, свойственные клиенту, — назначать сроки, критически оценивать результаты и т. п. Возможно, в этом случае лучше взять в группу опытного и знающего сотрудника (а может, и не одного), чтобы таким путем восполнить отсутствие реального заказчика.

Рекомендации, приведенные ниже, подкреплены нашим собственным опытом и получили поддержку в обсуждении с другими специалистами по разным методам моделирования. Мы включили в них и те, что хорошо показали себя в ходе работы над девятью моделями. Речь пойдет не только о принципиальных предложениях в научной области, но и о бюрократии, с которой все мы неизбежно сталкиваемся. Рекомендации помогут и разработчикам, и заказчикам, ведь совершенно очевидно, что система лучше работает, когда все ее части стремятся к общей цели. Использовать или не использовать их — зависит от конкретной ситуации.

Рекомендации для повышения эффективности моделирования

1. *Разработчикам*: нельзя быть готовым на все ради денег.
   Заказчикам/спонсорам: не сотрудничайте с теми разработчиками, кто за деньги готов сделать что угодно. И достойно платите тем, кто профессионально делает свою работу.

2. *Разработчикам*: работайте только с теми, кто затем действительно сможет применить результаты на практике.
   Заказчикам/спонсорам: никогда не нанимайте специалистов по моделям для решения чужих проблем.

3. *Разработчикам*: открыто говорите о своих представлениях и предубеждениях и принимайте во внимание пристрастия заказчика.
   Заказчикам/спонсорам: открыто говорите о своих представлениях и предубеждениях и принимайте во внимание пристрастия разработчика.

4. *Разработчикам*: уделите достаточное время тому, чтобы точно и полно определить задачи.
   Заказчикам/спонсорам: отведите достаточно времени на то, чтобы задачи были точно и полно определены.

5. *Разработчикам*: настаивайте на четком и детальном описании проблемы.
   Заказчикам/спонсорам: обеспечьте четкое описание той проблемы, которую следует решить.

6. *Разработчикам*: если вы зашли в тупик, снова обратитесь к определению проблемы.
   Заказчикам/спонсорам: не позволяйте разработчикам упускать из виду изучаемую проблему.

7. *Разработчикам*: подбирайте методы под проблему, а не наоборот.
   Заказчикам/спонсорам: нанимайте тех разработчиков, чьи методы соответствуют вашей проблеме. Не позволяйте создателям модели искажать формулировки проблемы в угоду математическому удобству.

8. *Разработчикам*: относитесь к проблеме как к решаемой задаче. Приложите все свои усилия к тому, чтобы найти решение, даже если это потребует профессионального риска.
   Заказчикам/спонсорам: относитесь к проблеме как к решаемой задаче и дайте разработчикам делать то, что они сочтут нужным,

чтобы найти решение. Иногда для этого нужно даже совершать ошибки. Прикладывайте усилия к тому, чтобы решение было найдено, и будьте готовы принять на себя долю риска.

9. *Разработчикам*: изучайте моделируемую систему.
   Заказчикам/спонсорам: делитесь своим опытом и впечатлениями о системе.

10. *Разработчикам*: задействуйте заказчика в процессе моделирования.
    Заказчикам/спонсорам: уделите свое время и время ваших сотрудников на отслеживание процесса моделирования и участие в нем.

11. *Разработчикам*: оперативно сделайте черновую, но работающую версию модели (за месяц).
    Заказчикам/спонсорам: настаивайте на том, чтобы была оперативно разработана черновая, но работоспособная версия модели.

12. *Разработчикам*: используйте уровень детальности в соответствии с решаемой проблемой и тем, какая информация необходима для представления модели заказчику. Не делайте модель чрезмерно подробной.
    Заказчикам/спонсорам: не настаивайте на внесении в модель подробностей только потому, что привыкли видеть высокий уровень детализации. Это может замаскировать основную суть.

13. *Разработчикам*: создавайте модель с учетом критерия успешности, с помощью которого заказчик будет оценивать возможности и достоверность модели.
    Заказчикам/спонсорам: доведите до сведения разработчиков используемые вами критерии успешности для оценки возможностей и достоверности модели. Опишите их четко и подробно.

14. *Разработчикам*: описывайте модель так, чтобы заказчик мог без труда вас понять.
    Заказчикам/спонсорам: настаивайте на таком описании модели, которое не вызывало бы у вас сложностей с пониманием.

15. *Разработчикам*: документируйте работы и модель с научной внимательностью и точностью.
    Заказчикам/спонсорам: знайте, что документирование необходимо, поддерживайте ведение документации и финансируйте эту часть работ, включив требование о документации в контракт.

16. *Разработчикам*: формулируйте рекомендации по стратегиям четко и понятно, с учетом ограничений и возможностей реального мира.

Заказчикам/спонсорам: не следует недооценивать шансы изменить систему — реальные возможности есть всегда.

17. *Разработчикам*: внимательно тестируйте модель, подвергайте ее полной проверке.
Заказчикам/спонсорам: задавайте о модели самые въедливые вопросы и поддерживайте ее тестирование, даже если будут обнаружены ошибки. Только так можно сделать ее лучше.

18. *Разработчикам*: работайте над проектом столько времени, сколько необходимо для получения практических результатов.
Заказчикам/спонсорам: используйте модель и привлекайте в помощь ее создателей для изменения системы.

Практически любой опытный разработчик знает, почему стоит следовать таким рекомендациям. Вероятно, он мог бы даже дополнить этот список. Большинство специалистов в этой области обладают хорошим чутьем и интуитивно понимают, когда и какие рекомендации применять. На самом деле почти всегда используют почти все из них. Но лишь немногие разработчики по-настоящему соответствуют всем этим пожеланиям, даже если они сами подтверждают их правильность и говорят при этом совершенно искренне. Профессиональная литература по моделированию настаивает на документировании уже многие годы, однако положение дел практически не изменилось, и финансирующие организации лишь иногда выдвигают подобное требование. Любой учебник по эконометрике предупреждает: не следует считать квадратичные методы или любой другой статистический метод оценки абсолютным мерилом качества модели. Но все равно статистики тратят больше времени на расчет сводных статистических факторов, чем на разработку показательных и содержательных методов оценки для модели. Специалисты заявляют о стремлении к простоте и прозрачности практически на любом профессиональном мероприятии или встрече. И те же самые люди делают малопонятные презентации о созданных ими громоздких и тяжеловесных моделях и с гордостью говорят о том, что в их творениях представлено больше параметров, чем в системах конкурентов. Разработчики повторяют как мантру, что заказчик должен быть вовлечен в процесс моделирования, но при этом на практике предпочитают обсуждать рабочие вопросы без клиентов, только в среде коллег. И что самое печальное, аналитики, занимающиеся моделированием и обучающие ему других, крайне редко задаются вопросом, какие методы лучше всего подходят к тому или иному типу проблем. Девять моделей, описанных в этой книге, очень хорошо демонстрируют, насколько редко рекомендациям следуют на практике...

Если люди постоянно дают себе хорошие советы и постоянно пропускают их мимо ушей, что-то явно не так, и причину надо искать не в ре-

комендациях, не в призывах к изменениям, не в условиях заказчиков, а глубже. Подавляющее большинство проблем при моделировании связано с личными и профессиональными привычками разработчиков, их мировоззрением и мышлением. Сколько ни высказывалось предложений об изменениях, как бы четко они ни формулировались, а воз и ныне там. И объясняется это очень весомыми структурными причинами.

Как и все сложные социальные образования, система, описывающая область системного анализа, не может измениться от одной простой технической поправки, от призывов, осознания вины, в результате волевого решения или какого-то нового и более эффективного способа делать то, что делали раньше. Система улучшится только при изменении ее строения, структуры и связей. В первую очередь в ней должны меняться цели, стимулы, наказания, ценности и собственное представление ее составных частей о себе. Чтобы обсудить эти важные вопросы, нам понадобится еще одна глава.

Ссылки на источники

1 Environmental Modeling and Decision Making/Holcomb Research Institute. New York: Praeger Publishers, 1976. С. 21—22.

2 *Brewer G.D.* Politicians, Bureaucrats, and the Consultant. New York: Basic Books, 1973. С. 239.

3 *House P.W.* The Developing Forecast Hoax // Simulation. 1977. Ноябрь. С. 140.

4 Ранее упомянутый источник: Holcomb Research Institute, с. xxiii.

5 См. работу: *Voorhees A.M.*, 1973, по материалам издания: *House P.W.*, *McLeod J.* Large-Scale Models for Policy Evaluation. New York: John Wiley & Sons. С. 37.

6 *Rademaker O.*, см. книгу: *Meadows D.*, *Richardson J.*, *Bruckmann G.* Groping in the Dark. Chichester: John Wiley & Sons. 1983. С. 207—208.

7 Ранее упомянутый источник: Holcomb Research Institute, с. 22.

8 Ранее упомянутый источник: *Meadows D.* с коллегами, с. 282.

9 *Rodgers G.B.*, *Wéry R.*, *Hopkins M.J.D.* The Myth of the Cavern Revisited: are Large-Scale Behavioral Models Useful? // Population and Development Review. 1976. 2. С. 395.

10 *Scolnik H.*, по ранее упомянутому источнику: *Meadows D.* с коллегами, с. 149.

11 *Watt K.F.* Why Won't Anyone Believe Us? // Simulation. 1971. Январь. С. 1.

12 Ранее упомянутый источник: Holcomb Research Institute, с. 21.

13 *Ouade E.S.* Analysis for Public Decisions. New York: Elsevier Science Publishing Co., Inc.. 1982. С. 154.

[14] *Majone A.G.* Pitfalls of **Analysis and the Analysis of Pitfalls // Urban Analy**sis. 1977. 4. С. 235.

[15] Ранее упомянутый источник: *Watt K.F.*, с. 3.

[16] *Greenberger M.*, *Crenson M.A.*, *Crissey B.L.* Models in the Policy Process. New York: Russell Sage Foundation, 1976. С. 327.

[17] *Shubik M.*, *Brewer G.D.* Models, Simulations, and Games — A Survey, Rand R-1060-ARPA/RC, май 1972 г. С. 69—70.

[18] Ранее упомянутый источник: *Greenberger M.*, *Crenson M.A.*, *Crissey B.L.*, с. 338.

[19] Ранее упомянутый источник: *Watt K.F.*, с. 3.

[20] *Mar B.W.* **Problems Encountered in Multidisciplinary Resources and En**vironmental Simulation Models Development // Journal of Environmental Management. 1984. 2, 83. С. 91.

[21] Ранее упомянутый источник: Holcomb Research Institute.

[22] Ранее упомянутый источник: Quade, с. 329—330.

[23] *Lee D.B.* Requiem for Large-Scale Models // American Institute of Planners Journal. 1973. 39, 3. С. 175.

[24] Ранее упомянутый источник: *Shubik M.*, *Brewer G.D.*, с. 61.

[25] Там же, с. 70.

[26] Ранее упомянутый источник: *Ouade E.S.*, с. 330.

[27] *Randers J.* The **Potential in Simulation of Macro-Social Processes. Oslo: Grup**pen for Ressorsstudier, 1977.

[28] *Hammond J.S.* Dos and Don'ts of Computer Models for Planning // Harvard & Business Review. 1974. 52, март-апрель. С. 117.

[29] Ранее упомянутый источник: *Mar B.W.*, с. 90.

[30] *Hoos I.R.* Systems **Analysis in Public Policy. Berkeley: University of Califor**nia Press, 1972.

[31] Ранее упомянутый источник: *Quade E.S.*, с. 322.

[32] *Quade E.S.*, *Boucher W.I.* (ред.). Systems Analysis and Policy Planning. New York: American Elsevier Publishing Co. 1968.

[33] *McClean M.*, по материалам: *Linstone H.A.*, *Simmonds W.H.C.* (ред.). Futures Research. Reading, Mass: Addison-Wesley, 1977. С. 148.

[34] Ранее упомянутый источник: *Brewer G.D.*, с. 237.

[35] Ранее упомянутый источник: House, McLeod, с. 76.

[36] Ранее упомянутый источник: *Greenberger M.*, *Crenson M.A.*, *Crissey B.L.*, с. 338.

[37] Ранее упомянутый источник: *Brewer G.D.*, с. 241.

[38] Ранее упомянутый источник: Holcomb Research Institute, с. xxii.

[39] Ранее упомянутый источник: *Brewer G.D.*, 1973., с. 238.

[40] Ранее упомянутый источник: Holcomb Research Institute, 1976., с. xxiii.

[41] Ранее упомянутый источник: House, McLeod, с. 101.

[42] *Fromm G., Hamilton W.L., Hamilton D.E.* Federally Supported Mathematical Models: Survey and Analysis. Washington D.C., National Science Foundation, 1975. С. 38.

[43] Ранее упомянутый источник: *Mar B.W.*, с. 96.

[44] Ранее упомянутый источник: *Shubik M., Brewer G.D.*, с. 62.

[45] Ранее упомянутый источник: Fromm с коллегами, 1975.

[46] Ранее упомянутый источник: *Greenberger M., Crenson M.A., Crissey B.L.*, с. 339.

[47] Ранее упомянутый источник: Holcomb Research Institute, 1976., с. xxii.

[48] Ранее упомянутый источник: *Quade E.S., Boucher W.I.*, с. 352.

[49] *Biggs A.G., Cawthorns A.R.*, 1962, по материалам ранее упомянутого источника: House, McLeod, с. 73.

[50] Ранее упомянутый источник: *Quade E.S.*, с. 338—339.

[51] Ранее упомянутый источник: *Brewer G.D.*, с. 241.

17
ГЛАВА

Как меняется область моделирования

К сожалению, изложенных в предыдущей главе добрых пожеланий недостаточно. Точнее, их могло бы хватить, если бы система в реальном мире благоденствовала, а мы неторопливо обсуждали пути улучшений в научной деятельности, не находясь под давлением обстоятельств. Однако положение в социальных науках на сегодняшний день далеко от нормального, и даже науками в полном смысле этого слова их назвать сложно. Поэтому-то все так плохо с системами, которые они должны изучать — большими, сложными социальными структурами.

Племенам кочевников в Сахеле, которые исследовал Пикарди, угрожает не только голод, но и разрушение окружающей среды, и утрата культурного наследия. Мексика, представленная в системах CHAC и MexicoV, охвачена 40%-й безработицей в сельских районах, имеет скорость роста численности населения более 2% в год, страдает от массовой нищеты и серьезной нехватки водных ресурсов во многих регионах. К тому же, несмотря на имеющиеся месторождения нефти (а может, как раз из-за них), страна имеет очень большой внешний долг — чуть ли не самый высокий в мире. Соединенные Штаты Америки, описанные в моделях RfF и SOS, столкнулись с серьезной эрозией пахотных земель (на 40%), с загрязнением грунтовых вод токсичными соединениями и с кислотными дождями в восточных районах страны. Государство продолжает наращивать арсенал ядерных вооружений, а 14% его населения находится за чертой бедности, при этом у 3 млн человек нет постоянного жилья.

На планете каждую минуту 28 человек умирает от голода, 21 из них — дети. За ту же самую минуту 1 млн долл. тратится на военные цели, а в тропиках вырубается 16 га леса. Ежедневно исчезает как минимум один вид животных. Чистый годовой улов в девяти из двенадцати крупнейших океанских зон рыбной ловли уменьшился до малой доли исходного объема. Зато накоплено столько атомного

оружия, что можно устроить взрыв, равный по мощности 5000 Вторых мировых войн.

Все эти и многие другие системные проблемы очень стойки, от них трудно избавиться. Они остаются и продолжают проявлять себя даже тогда, когда мы применяем самые изощренные и совершенные научные методы, системы коммуникаций, спутники, модели и базы данных, какие только разрабатывались в мире. В то же самое время компьютерное моделирование — область, которая дает реальный шанс развить глобальный уровень понимания и обеспечить лучшее будущее человечеству, позволить ему развязать узлы, которые иначе будут затягиваться все туже, — на самом деле продолжает упорствовать в заблуждениях и сама демонстрирует извращенное поведение.

- Моделирование продолжает концентрироваться не на самых важных элементах систем, а на тех, которые легко поддаются количественному учету.
- Огромные силы и внимание тратятся на то, чтобы добиться незначительного улучшения в точности расчетов, хотя гораздо полезнее было бы проводить детальное тестирование модели на правдоподобность и адекватность.
- По умолчанию считается, что в основе разрушительного поведения лежит социальная структура. Это особенно подчеркивается, хотя правильнее было бы ставить вопросы о долговременных целях, разрабатывать содержательные индикаторы социального развития и предлагать меры по изменению структуры системы.
- Разработчики создают сложные «черные ящики», которые широкая публика должна принимать на веру, поскольку ей все равно никто не может объяснить суть и внутреннее содержание модели...
- Моделированию редко удается продемонстрировать уникальность и сильные стороны своего подхода: возможность сосредоточить внимание на системе как целом **[а не частностях] и проследить** их изменение в долговременной перспективе [а не уповать на временные меры, дающие лишь краткосрочный эффект].
- Многие модели и разработки неправдоподобны, не используются и даже не фиксируются документально, хотя было бы очень полезно, чтобы другие учились на наших ошибках.

Если система постоянно ведет себя плохо, улучшений нет, и так происходит долгое время, несмотря на все изменения во внешних условиях, значит, нужны кардинальные изменения, а не латание дыр. Должно измениться что-то в самой системе — нужна новая структура, которая даст жизнь другому поведению.

Разработчики часто приходят к такому выводу, когда создают модели промышленных, социальных и экономических систем. При этом в собственных системах они многого не замечают. Мы привели много примеров того, как система работает лишь на малую толику от своих настоящих возможностей. Создатели моделей осознают и признают собственное несовершенство. Они описывают лучшие подходы, которым могли бы следовать все, чтобы достичь большей эффективности. Но затем сами их не используют! Разумеется, на то есть системные, структурные причины. Но на этом всё и заканчивается, и все дальнейшие разговоры бесполезны.

Любые идеи об изменениях в человеческом обществе всегда вызывают сопротивление. Лишь очень немногие люди в системе (и неважно, насколько они ею недовольны) действительно стремятся к изменениям, ведь гораздо приятнее жить в привычной среде, со всеми ее недостатками, чем попробовать что-то новое и рисковать потерять условия и комфорт, с которыми мы уже сроднились. Иногда даже приятно пожаловаться — это так привычно, хорошо знакомо, не таит никакого риска...

Поэтому разработчики моделей, как и обычные люди, вовсе не стремятся даже теоретически изучить принципиальные структурные изменения в своей собственной системе. Ведь они могут привести к совершенно новым типам поведения, и изменения могут оказаться гораздо более глубокими, чем просто более тщательное ведение документации или четкое определение проблемы. В этой главе речь пойдет как раз о таком глубинном, принципиальном изменении структуры. Это можно назвать *трансформацией*, *преобразованием*, чтобы подчеркнуть, что имеется в виду нечто большее, чем просто изменение, каким его понимает большинство людей.

Под трансформацией мы вовсе не имеем в виду массовое усилие множества людей над собой или список задач, которые нужно выполнить, новые виды работ, новые требования к сотрудникам, их наём или увольнение. Трансформация (в отличие от изменения) — это процесс, который нельзя расписать заранее или разбить на ряд этапов, которые выполнялись бы по определенному плану. При этом рождается несколько иная структура системы, и тогда рекомендации, приведенные в прошлой главе, будут выполняться сами собой, без усилий, или появятся другие варианты полезного поведения, о которых мы даже не думали. Трансформация — реализация возможностей, уже заложенных в систему. Для нее не нужно воздействие извне или заранее составленный план.

При обсуждении преобразования системы возникает одна серьезная проблема. Дело в том, что сама эта идея чужда промышленной культуре Запада и ее научной составляющей в частности. Хотя в некоторых сферах жизни люди периодически сталкиваются с тем

или иным видом трансформации, очень немногие из них осознают подобное преобразование и могут пополнить им свой опыт. В обычной жизни мы с этим не сталкиваемся, это понятие не вписывается в современное мировоззрение, в западную парадигму, поэтому в основном его существование отрицают. В социальных науках (если трансформацию вообще в каких-то условиях считают возможной) она ассоциируется с неимоверным усилием, принуждением и даже насилием. Если все воспринимают ее так, то неудивительно, что ей сопротивляются.

Ключевая идея этой главы — позволить самим себе думать о преобразовании как реальном явлении, вполне возможном, реализуемом, приносящем желаемое поведение и отвечающем нашим надеждам. Тогда структура социальных систем станет такой, какой мы хотим ее видеть. Трансформация начинается с того, чтобы думать иначе — так, что это вызывает к жизни желаемое поведение, системную структуру, выполнение ожиданий. Если разработчики компьютерных моделей научатся думать о ней как о реальной возможности, тогда они обретут ключ к решению проблем в социальных системах.

Наше принципиальное мнение состоит в том, что система, описывающая область системного анализа, ведет себя так, как мы это видим, из-за того, что опирается на определенные глубинные представления, основополагающую парадигму. В нее входит и представление самих разработчиков о системе. Изменить систему можно только за счет изменения предположений, на которых она основана. Вот три доминирующих социальных представления о создателях компьютерных моделей — именно они, мы в этом уверены, порождают извращенное поведение системы, на которое жалуются разработчики.

1. Создатели компьютерных моделей во многом похожи на ученых и должны вести себя как ученые.
2. Разработчики компьютерных моделей должны в чем-то вести себя как политики.
3. Тех, кто создает модели, нельзя считать обычными людьми — они не совсем люди и должны вести себя соответственно.

Изучение этих предположений и их последствий приведет нас, разумеется, к представлениям нашего общества об ученых, политиках и людях.

Здесь мы ступаем на довольно опасную почву. Изучать парадигму, лежащую в основе общества, к которому мы сами принадлежим, — примерно то же самое, что смотреть в глаза самому себе, как говорят буддисты. Мы вряд ли можем исключить влияние собственной сущности настолько, чтобы изучить себя объективно. Но попытаться все-таки можно.

Насколько бы мы ни продвинулись в этом направлении, опасность в любом случае велика, поскольку никакое общество не терпит, чтобы его основы выставляли на всеобщее обозрение и публично изучали. Что бы мы ни предложили, это легко отмести как нереальную, недостижимую цель, упрощенное или извращенное представление, попытку опровергнуть устои. Самым четким свидетельством успеха будет мысленный дискомфорт читателя, особенно если он или она имеет отношение к компьютерному моделированию. Если отрицательной реакции на приведенные далее идеи не возникнет, значит, мы недостаточно далеко зашли...

Что ж, теперь вы предупреждены. Можно переходить к делу.

17.1. Первичные источники информации о структуре систем

Как гласит наука, объекты в физическом мире таковы, каковы они есть, и ведут себя так, как ведут, независимо от того, что мы о них думаем. Поведение физических объектов в природе продиктовано законами мироздания. Человеческие мнения, убеждения, надежды, заблуждения, иллюзии и мольбы никак на них не влияют. Когда-то людям приходилось страдать и даже гибнуть за эту идею, но сейчас она настолько вошла в нашу жизнь, что мы считаем ее чем-то само собой разумеющимся. Это часть общей социальной парадигмы, характерной для промышленно развитого мира. Это представление заложено настолько глубоко, что мы применяем его автоматически, не задумываясь (что очень характерно для парадигм), причем не только к миру физических объектов — мы распространяем его действие еще и на людей и социальные системы.

Однако поведение людей, в отличие от физических объектов, в очень большой степени зависит от того, что думают они и те, кто их окружает. И структура социальных систем в неменьшей степени зависит от того, что думают массы людей о себе, природе, смысле собственной жизни, цели существования общества, о том, что возможно, а что нет. Общество, обеспокоенное вопросами смерти, в котором царит мистика и вера в неравенство как естественный порядок вещей, порождает пирамиды и жрецов, фараонов и рабов. Общество, определяющее благо как материальный достаток, руководимое рациональными побуждениями и верой в равенство возможностей, создает фабрики и заводы, ученых, выборы и супермаркеты. Все созданные человеком физические системы — промышленные предприятия, технологии, организации, иерархии — все это представляет собой историческое следствие мировоззрения, разделяемого обществом, с поправкой на физические ограничения.

Значение социальных парадигм для формирования системных структур — идея не новая, но она до сих пор не стала общепризнанной из-за заложенных в нее противоречий. Одна крайность — вера в то, что люди и общество, словно бильярдные шары, управляются только физическими законами. Другая — что даже второй закон термодинамики может уступить силе духа. И не составит труда найти людей, которые строят свою жизнь в соответствии с тем или другим представлением.

Мы не занимаем крайних позиций, но все-таки относим себя к тем, кто считает, что разделяемое мысленное представление способно служить мощной трансформирующей силой. В этом наше мировоззрение отличается от того, что принято в западном мире. Мы не подвергаем сомнению второе начало термодинамики, но не можем игнорировать собственный опыт трансформирования систем, вызванного к жизни мышлением, которое отличается от общепринятого. Примерами такой трансформации на личном уровне могут служить программы анонимных алкоголиков, методы лучших спортивных тренеров, практики дзен. Примерами на уровне общества могут быть такие события, как получение страной независимости, отмена рабства или крепостного права, предоставление гражданских прав и свобод национальным меньшинствам и женщинам...

Социальные системы эволюционируют, когда общество разделяет мировоззрение, а ограничивает этот процесс природа физического мира. Систему нельзя изменить, если не изменится мысль; систему нельзя разрушить, пока не будет разрушен стереотип мышления — а уж если это произойдет, то ничто не остановит изменение физической или социальной структуры и ее преобразование для соответствия новому мировоззрению. Так зарождается новая реальность.

Вот еще несколько описаний того, как происходят подобные преобразования.

Если предприятие разрушено до основания, но движущая сила, создавшая его, никуда не исчезла, то эта сила просто создаст еще одно предприятие. Если в результате революции правительство свергли, но общественное мнение и структуры, приведшие его к власти, остались прежними, то история повторится заново. О системах так много говорят! И так мало в них понимают...[1]

Важно помнить, что в организационном мире объективность, какой бы безликой она ни представлялась применительно к отдельным людям, на самом деле проистекает от человеческих представлений... Объективность в социальном мире означает, что она противостоит человеку извне — и это «извне» измеряется относительно него самого. Вопрос только в том, осознает ли он, что социальный мир порожден человеком, и понимает ли, что его можно создать заново... Обычно реальная взаимосвязь человека

и мира вокруг него искажена с точностью до наоборот: человек, создатель мира, представлен в нем как продукт... Человек теперь считается не создателем, а созданием, которое породила «природа вещей» [2].

Если система компьютерного моделирования постоянно выдает слишком сложные результаты, если объяснения запутаны и недостаточны, если не хватает воображения, если модели недостоверны и не используются на практике, значит, что-то не так в том, как участники системы представляют себе реальность — именно это представление заставляет их вести себя таким образом. Значит, основная задача — выяснить, что именно разработчики компьютерных моделей думают о себе и что окружающий мир думает о них. Как это представление влияет на поведение, которое мы подробно описали в этой книге? И какие иные пути мышления позволят изменить его?

17.2. Создатели моделей — ученые

Общество склонно считать разработчиков компьютерных моделей учеными, и они сами придерживаются такой же точки зрения. Как и большинство ученых, работающих в области социологии, создатели моделей позаимствовали у точных наук в первую очередь те внешние признаки, которые позволяют представить работу как внушительную и заслуживающую уважения. Именно отсюда идет стремление проводить расчеты с большим количеством знаков после запятой, использовать непонятные термины, писать мудреные статьи в журналах, статистически «подтверждать» достоверность модели и оперировать математическими функциями вместо того, чтобы давать понятные объяснения. Основным орудием стал компьютер, окутанный ореолом всеведения. У естественных наук позаимствовали всё, что может производить внешнее впечатление, за исключением разве что белого халата[3].

Однако настоящая наука заключается не только в наборе методов, формул, публикации статей в журналах или чем-то еще, что доступно чувственному восприятию. Кроме физических атрибутов у настоящей науки есть еще и дух, и не зря существует понятие «научный тип мышления». Когда за дело берется настоящий ученый, научное мышление — потрясающе мощный метод, позволяющий сфокусироваться на физическом мире. Вопросы задаются с такой точностью и проницательностью, что правильные ответы появляются сами собой. По сути, научный метод заключается в постоянном чередовании индукции и дедукции, точного формулирования гипотез и тщательной их проверки.

Усвоить и использовать в работе эту часть научного метода разработчики компьютерных моделей не смогли. Иногда высказывается

некоторое сомнение в том, что в социальных дисциплинах следует исповедовать те же подходы, что и в точных науках. Мы, например, не считаем, что это обязательно, и думаем, что научный метод — не единственный путь к успеху в моделировании. Однако мы абсолютно уверены в том, что критическое мышление, необходимое для научных исследований, очень пригодится в моделировании социальных систем и будет способствовать его развитию. Пожалуй, стоит немного глубже копнуть, что на самом деле означает «заниматься наукой», чтобы понять, *что* может измениться, если разработчики компьютерных моделей станут на самом деле использовать научные методы, а не «играть в ученых».

Научный подход требует использовать четко поставленные вопросы. Он зависит от того, какие ответы уже есть, и четкого представления о том, что уже известно, а что еще нет. Успех всего исследования зависит от вопросов, поставленных на границе неизвестного, от точности и, можно сказать, меткости формулировок.

Разработчики компьютерных моделей, как мы уже видели, вопросы ставят довольно путано, к тому же их количество велико. Многие из описанных в этой книге моделей чем-то напоминают извечный вопрос биологов «Что такое жизнь?». Почему-то у многих существует внутренняя убежденность в том, что компьютер не просто всё знает, а еще и может дать ответы на все вопросы сразу. Молодое научное течение — анализ социальных систем — пытается продемонстрировать свою компетентность и всезнание, потому что этого от него ждут клиенты. В их глазах разработчики — настоящие ученые, которые *должны* все знать. Но лучшие из ученых, настоящие специалисты, никогда не претендуют на то, что им известно всё обо всём. Они ставят один грамотно сформулированный вопрос и ищут на него ответ. И они всегда очень хорошо осознают, насколько на самом деле ограниченно их знание. Помимо тщательной постановки вопроса, научный метод требует выполнения еще двух требований.

1. Формулирование многочисленных гипотез.
2. Постановка экспериментов, нацеленных на *опровержение* этих гипотез.

В одной из статей об ученых-естественниках (которые, кстати, сами довольно часто забывают о том, что надо придерживаться научного подхода) известный специалист-компьютерщик Джон Платт описывает два этих требования:

«Наша проблема в том, что, выдвинув одну гипотезу, мы потом привязаны к ней... Для прогресса нужно, чтобы между собой соревновались альтернативы, и какие-то из них должны проигрывать. У нас же всё превращается в острое соперничество между людьми, у каждого из которых своя Главная

Идея. А вот когда каждый имеет целый ряд рабочих гипотез, конфликта между людьми нет, есть только соревнование идей… На самом деле, когда идеи «ничьи» и когда все заняты проверкой на прочность каждой из них, работа в лаборатории становится интересной и необычайно увлекательной. Студенты только и ждут возможности включиться в работу, чтобы посмотреть, как перед их глазами будет разворачиваться почти детективная история»[4].

Платт описывает опасность, когда опровержению гипотез не уделяется должное внимание, на примере химика-теоретика, читающего лекцию:

«Таким образом, мы видим, что связь C—Cl длиннее в первом соединении, чем во втором, поскольку ионный характер связи здесь менее выражен».

Голос с последней парты: «Но, профессор, в таблице сказано, что связь C—Cl в первом соединении короче!»

«Правда? — удивляется профессор. — А, ну так это потому, что в нем больше выражена двойная связь».

Не знаю, насколько эта история правдива, но если да, то излагаемая «теория» вообще не может считаться теорией, потому что она ничего не опровергает. Она позволяет объяснить все, а значит, не объясняет ничего. Просто набор слов, который студенты запоминают и в который верят, потому что профессор много раз его повторил. Это не наука, а вера; не теория, а теология. Неважно, манипулируете ли вы цифрами или совершаете магические движения руками, но теория считается теорией только тогда, когда ее можно опровергнуть…

Специалисты по теории резонанса, конечно, решат, что я критикую персонально их, а сторонники теории молекулярных орбиталей решат, что я кидаю камень в их огород. Но их реакция говорит сама за себя. *Они не могут прийти к согласию уже 30 лет, и это открытое подтверждение тому, что опровергнуть ничего так и не удалось*[5].

В компьютерном моделировании, как в большинстве социальных наук, везде используются отдельные, одиночные гипотезы, к которыми прикипели сердцем отдельные ученые и даже целые страны. Когда кто-то (и тем более целое государство) начинает исповедовать одну-единственную гипотезу, иссякают всякие попытки опровергнуть ее, и тогда, как заметил Платт, разногласия будут вечными. Гипотеза Мальтуса остается предметом обсуждения уже больше 200 лет. Гипотезы Карла Маркса, Адама Смита, Джона Стюарта Милла породили 100-летний конфликт, конца которому не видно. А ведь все они теперь встраиваются в модели социальных систем...

Из точных наук компьютерному моделированию еще предстоит позаимствовать понятие общности и разделяемое стремление добиться целостного понимания мира. Вместо того чтобы каждый раз в одиночку решать задачи, ученые уже давно неосознанно выработали и усвои-

ли представление о том, что каждый из них делает свой небольшой вклад в общее дело. В результате процесс движется медленно, но верно. Каждый ученый добавляет один-два кирпичика в огромное строящееся здание научного понимания. Такая коллективная работа имеет много полезных черт, и две из них пока совершенно не свойственны компьютерному моделированию:

1) внимательное и тщательное ведение документации, чтобы все сообщество могло получить всю информацию;
2) признанные всем сообществом требования к повторяемости, воспроизводимости результатов, их экспериментальной проверке, представлению доказательств и критике.

Социальные науки в целом (и компьютерное моделирование в частности) на обвинения в отсутствии строгого тестирования обычно отвечают, что в социальных системах нельзя проводить эксперименты, и считают это достаточным оправданием. Этот пункт — лишь один из четырех, используемых в науке, но на самом деле и это не главное, ведь естественные науки успешны не только и не столько из-за лабораторных экспериментов. В свое время развитие науки начиналось с астрономии, где не эксперименты, а математические методы позволили добиться ошеломляющего успеха. Сколько бы ни жаловались экономисты на то, что им для заключений недостает больших выборок и статистических данных, всегда можно напомнить, что астрономия начинала с очень маленьких наборов данных — несколько планет, одно Солнце, одна Луна... Возможно, причина все-таки не в принципиальной разнице между экономикой и другими науками, а в том, что в экономике слишком нечетко определены понятия?[6]

Каким было бы компьютерное моделирование, если бы разработчики стремились четко определять термины, ставили только строго сформулированные вопросы, выдвигали не одну, а множество гипотез, опровергали их и постоянно накапливали общие знания? Какой стала бы эта область знаний, если бы занятые в ней специалисты вели себя как настоящие ученые и проявляли ответственность, а не упивались властью и ощущением избранности? На эти вопросы сложно ответить, но, скорее всего, моделирование тогда больше сблизилось бы с естественнонаучным миром, и произошло бы это уже давно. В точных науках тоже не все так радужно, но бóльшая часть ученых все-таки исповедует строгий научный подход и принимает на себя ответственность, в результате все сообщество добивается значительных успехов. При этом шкалы оценки и правила достаточно прозрачны, понятны и без каких-либо сомнений способствуют прогрессу.

В качестве примера компьютерного моделирования, выполненного с помощью научного подхода, мы можем рассказать историю о специалисте по моделям, которого пригласили участвовать в междисцип-

линарном проекте по аквакультурам вместе с химиками, биологами и инженерами. (Для примера больше подошла бы история про социальный проект, но такие нам пока не попадались.) Исследовательская группа использовала десятки вертикальных цилиндрических баков (тенков) с водорослями, в которые запускали один вид рыб, питающихся ими. Идея была в том, чтобы определить условия питания и управления экосистемой, которые обеспечивали бы максимально быстрый рост рыбы при невысоких затратах. В тенках можно было менять плотность посадки водорослей, программы питания, режимы аэрации, насыщения кислородом и перемешивания слоев воды, расписание чистки — вариантов было так много, что перепробовать на практике все сочетания заведомо невозможно, поэтому решили прибегнуть к моделированию.

Разработчик начал с создания диаграммы взаимодействия элементов во всей системе. В работе участвовали и другие члены исследовательской группы. Диаграмма была черновой, очень приблизительной, однако уже показала себя как полезный инструмент, поднявший обмен информацией между учеными на новый уровень. Химики указали на важность соединений азота в воде, биологи внесли в модель колонии бактерий, населявших отложения на дне баков, все члены команды смогли увидеть, как важные для них составные части системы взаимодействуют с другими элементами и, что самое важное, как все это отражается на росте рыбы. Подобное обсуждение еще до того, как в дело вступил компьютер, уже привело к прогрессу, позволило поставить новые вопросы и предложить новые эксперименты.

Простая компьютерная модель была готова довольно быстро. Когда ее запустили, она стала выдавать результаты, которые поразили всех. Многие из них были просто неверны — причиной тому послужили неполнота и однобокость мысленных моделей исследователей. Эти ошибки удалось легко найти с помощью данных, полученных в реальной системе, — в тенках с водорослями и рыбой. Каждый раз в таком случае в модели приходилось что-то переделывать, при этом возникала потребность в измерении каких-то дополнительных показателей и в учете параметров, которые раньше не считались важными для исследования. Бактерии в донных отложениях появились в модели тогда, когда выяснилось, что без них нельзя корректно описать химические процессы. Целиком проводить эксперимент заново приходилось редко, но зато изменения в системе по мере накопления новых знаний отслеживались каждый раз иначе, по-новому.

Доработка продолжалась два года: каждый раз для модели требовался новый вид наблюдений за реальной системой, на их основе в программу вносились изменения, она выдавала другие результаты, снова проводились измерения и вносились поправки. Менялась не только компьютерная модель системы — мысленные модели исследователей

тоже эволюционировали, понимание углублялось, и обмен информацией между специалистами из разных областей становился все эффективнее. В какой-то момент модель достигла такого уровня развития, что ее поняли и в нее поверили все члены команды. Она воспроизвела реальные результаты, полученные в экосистеме, где были высажены водоросли и плавала рыба. В этот момент модель уже можно было использовать для отработки эффективных стратегий управления системой, чтобы найти условия для максимально быстрого роста рыбы.

Модель воспроизводила взаимодействие всего нескольких видов живых существ — водорослей, рыбы и бактерий. Из внешних факторов присутствовал только солнечный свет. Отслеживалось только химическое взаимодействие соединений азота, кислорода и углерода, при этом количество вариантов управления было большим, но не бесконечным. Желаемый результат было несложно измерить, и он не содержал в себе противоречий. Итоговая модель по размерам была сопоставима со средними моделями из тех девяти, что описаны в нашей книге. На ее создание ушло два года постоянной работы, многократных сопоставлений модели с реальной системой, доработок и снова сопоставлений. Только тогда модели удалось достоверно воспроизвести поведение реальной системы, и она стала пригодна для использования по назначению. За время ее использования прирост рыбы в баках существенно увеличился, и все члены команды расценили это как большой успех.

Вывод из этой истории довольно прост: всем, кто связан с моделированием (в том числе социальных систем), нужно проявить большую скромность и осторожность в оценке своего понимания сложных экономических систем, связанных со сложными экосистемами, при том, что в них целей гораздо больше, чем в нашем примере, они вступают в противоречие друг с другом, а некоторые параметры измерению не поддаются... Еще один важный урок — поведение разработчика как ученого, использование научного подхода. Он был не просто наблюдателем в лаборатории, занимавшим отстраненную позицию, а стремился к конкретной цели, четко уяснив ее. Специалист по моделям выяснял особенности поведения системы и одновременно пытался воздействовать на нее, был полностью вовлечен в процесс, а не просто занимался отдельными работами. Он использовал модель, чтобы записать множественные гипотезы, выдвинутые разными учеными, чтобы объединить их и предположить, какие эксперименты в системе позволят их опровергнуть. Создатель модели постоянно занимался сопоставлением результатов расчетов с поведением реальной системы — это была кропотливая, практически ежедневная работа.

В процессе разработки используется критическое научное мышление, однако это не отстраненно-нейтральная наука. В примере с аквакультурой, как и в моделировании социальных структур, в ходе работы на изучаемую систему воздействовали, чтобы получить желаемый

результат. Дональд Шон, на работы которого мы ссылаемся в этой главе, называл такой подход «размышлением по ходу дела» и настаивал на том, чтобы экспериментатор динамично взаимодействовал с изучаемой системой. Изучаемое явление может быть понято только тогда, когда оно становится творением исследователя. И он сам, в свою очередь, становится участником системы, которую пытается понять[7].

Можно привести аналогию из обычной жизни, далекой от науки и относящейся к вопросам технического мастерства:

> «Посмотри как-нибудь на новичка-рабочего или на плохого рабочего и сравни выражение его лица с выражением лица мастера, работу которого считаешь отличной, — сразу увидишь разницу. Мастер никогда не пользуется ни единой строчкой инструкций. Он принимает решения по мере продвижения. По этой причине он будет поглощен работой и внимателен к тому, что делает, даже если он ничего специально не изобретает. Его движения и движения машины — в какой-то гармонии. Он не следует никакому набору записанных инструкций, потому что природа подручного материала определяет его мысли и движения, одновременно изменяющие природу подручного материала. Материал и его мысли изменяются вместе с последовательностью изменений до тех пор, пока его ум не успокаивается в то же самое мгновение, когда материал становится правильным»[8].

Склад мышления, свойственный естественным наукам, способен изменить область компьютерного моделирования, но дело здесь не в точности расчетов и формулировок и не в отстраненности или наблюдении издали. Самое главное — внутренняя дисциплина и четкость в постановке вопросов, выдвижении гипотез, поиске опровержения для них и признании того, что разработчик модели — лишь один из многих исследователей и экспериментаторов. Все они должны уметь «размышлять по ходу дела», быть вовлеченными в социальные системы и заботиться об их эволюционном изменении. Такое мировоззрение сделает разработчиков настоящими учеными, привьет им вкус к более строгому научному подходу, но при этом позволит быть полноправными участниками системы, разделять ее ценности и работать над достижением желаемых результатов.

Правда, здесь есть одно «но». Моделирование социальных систем лежит между двумя мирами — науки и политики. Разработчики моделей должны быть не только учеными, их нужно оценивать еще и как политиков. Это аспект их деятельности накладывает отпечаток на результаты работы и поведение, поэтому его тоже нужно учитывать.

17.3. Создатели моделей — политики

Модели социальных систем в большинстве своем не используются для разработки стратегий и политик — по крайней мере, в той форме,

в которой это предполагалось. Но даже если бы их специально создавали так, чтобы политики их оценили и им было удобно их применять, вряд ли это принципиально что-либо изменило. Компьютерные модели социальных систем, как описанные в этой книге, так и большинство других[9], и так вполне вписываются в рамки общепринятого политического мышления. Приведем примеры.

- Они подчеркивают, что важные решения в мире принимаются на уровне стран. Если задавать национальную политику как внешний фактор, из этого следует, что политики страны (и только они) не зависят от остальной системы, находятся над ней и вольны делать все, что им заблагорассудится. Модели редко учитывают, что сама национальная политика встроена в систему и испытывает ее влияние. Не учитывается также и возможность того, что политические рычаги в масштабе страны окажутся неэффективными и не позволят влиять на что бы то ни было.
- В моделях народ представляется как безликий сырой материал, источник рабочей силы и движущая сила потребления. Ему можно в какой-то степени придавать форму за счет определенной политики или программ, но он безынициативен, не обладает творческим потенциалом и силами, ни за что не борется.
- Модели упорно продолжают использовать в качестве социальных показателей денежные единицы измерения. Они их создают, отслеживают и фактически навязывают системе, вместо того, чтобы сосредоточиться на физических потоках, равномерном распределении, основных человеческих потребностях или любых нефинансовых и нематериальных единицах измерения.
- Модели по умолчанию принимают определение развития, характерное для западной культуры. Они считают, что мир хочет и должен направиться по тому же пути, которым уже прошли индустриально развитые страны. Вопрос о том, желателен ли такой путь, осуществим ли и позволит ли он развиваться устойчиво, даже не возникает. Модели никогда не рисуют мир, в котором рабочие места не приходилось бы «создавать», где работа подчеркивает человеческое достоинство, где окружающая среда не нарушена и доставляет удовольствие, где люди — не только потребители, где разнообразие культур и традиций ценится и поощряется.
- Модели соревнуются с экономистами в том, чтобы называть одни результаты промышленной деятельности «продукцией», а другие — «побочными последствиями» производства или потребления. Они изображают привычные границы, в которых не задается вопрос, откуда берутся ресурсы и куда исчезают отходы и выбросы. Модели не пытаются отразить, какой ценой обходится производство для сообществ людей и их целостности, для личного

восприятия и самоощущения, для экосистем, для стабильности мирового порядка, в конце концов.

- Помимо прочего, разработчики компьютерных моделей культивируют в своей среде циничное отношение к жизни и мнение о том, что род человеческий порочен по своей сути, что люди никогда не станут вести себя разумно, что в обществе всегда будет царить лицемерие и никогда не будет в почете мораль. Разработчики видят только свидетельства того, что обществом управлять нельзя, и не замечают, что на самом деле их окружают достойные, внимательные, умные и умеющие работать вместе люди.

Анализ сложных систем может научить политика в первую очередь тому, как ставить принципиальные вопросы о системе в целом, о ее поведении в долговременной перспективе. Компьютерное моделирование уже продемонстрировало свои умения в этой области. Не нужно изучать мышление политиков — моделирование уже разобралось в нем и знает, как им пользоваться (хотя есть и исключения из этого правила, это касается в том числе некоторых из рассмотренных в книге моделей).

В социальной политике есть масса предположений, которые следовало бы пересмотреть, но некоторые из них оказались привлекательны для компьютерного моделирования, и оно не устояло перед искушением — например, предположение о том, что сосредоточенность на краткосрочных перспективах послужит и долговременным целям, или что максимизация благ в отдельных частях системы будет способствовать благу всей системы. Причина, по которой компьютерное моделирование все чаще используется для подкрепления этих предположений, а не для их проверки и возможного опровержения, скорее всего, проистекает из еще одного глубоко укоренившегося представления. Его корни тянутся к точным наукам. Оно гласит, что социальные системы упорядочены, познаваемы и управляемы, и поэтому политические лидеры должны быть способны держать их в порядке, знать их суть и управлять ими.

И в средствах массовой информации, и в исторических записях, и в мифах, и в легендах — вообще везде, где описывается общество, — политические лидеры всегда знают ответы на вопросы. От руководителей ожидают твердости, непоколебимости, уверенности в действиях и правоты. Политик не может признаться в незнании, он не имеет на это права. Ему нельзя пробовать, потому что он должен *знать*. Лидер не может заявить, что то решение, которое работало вчера, теперь непригодно. Укоренившееся представление не допускает, что проблемы могут быть непознаваемы и не иметь постоянных решений. Между тем в мире (как минимум, в социальных системах) подавляющее большинство проблем именно такие. Их характерная

черта (в политике, экономике, образовании, список можно продолжить) в том, что всегда нужно преодолевать или примирять между собой противоположности. Сложные проблемы всегда имеют простые, легкие для понимания неправильные решения — именно они появляются первыми. Но они работают очень недолго, потому что неизбежно упускают одну из противоположностей. В экономике предлагаемые решения могут дать свободу в ущерб планированию либо наоборот, но не одновременно и то и другое. В промышленной организации либо будет обеспечена дисциплина, либо участие работников в управлении. В политике возможно лидерство без демократии либо демократия без лидерства[10].

Дональд Майкл, специалист по планированию, политике и психологии, изучал истоки представления о том, что мир познаваем и управляем, и пришел к довольно интересным выводам. Со времен эпохи просвещения наука и технология приобрели в глазах людей всесильность, и такое мнение со временем только подкреплялось. Особенно глубоко оно укоренилось среди мужчин как наиболее активной части тогдашнего общества. Согласно ему, компетентный специалист всегда может почерпнуть из доступной информации необходимые знания, чтобы обнаружить причины и следствия текущего положения и научиться управлять ими.

Подобные представления привели к тому, что ошибки стали восприниматься как неудачи и свидетельство некомпетентности. Тот, кто ошибся, не сумел правильно применить знания и взять ситуацию под контроль... Самым важным стало продемонстрировать, что все под контролем — от этого зависит представление окружающих о человеке и даже его собственное восприятие себя. Утратить контроль — значит, потерпеть полную неудачу, поэтому все прилагают максимум усилий к тому, чтобы не выдать свою неспособность управлять ситуацией[11].

Пророки и оракулы возникли еще в донаучные времена, но они востребованы и в современном социальном мире. Способности к предсказанию теперь приписываются не богам и духам, а науке, рациональному мышлению и компьютеру. В обществе нет сомнений, что такие знания возможны, и о лидерах судят по тому, насколько они демонстрируют свое владение информацией и умение действовать.

Разработчики компьютерных моделей неосознанно восприняли представления о политиках как непогрешимых правителях. Самим своим присутствием они подкрепляют такой имидж. Ценятся компетентность, уверенность, значительность. Чтобы разработчикам доверяли, нужно, чтобы модели были всеобъемлющими, сложными, чтобы они выдавали численные результаты с большим количеством значащих цифр. И такие специалисты не захотят, чтобы их модель открыто тестировали и подвергали тщательным проверкам.

Дональд Шон характеризует такой подход как теорию действия по «Модели I».

Тот, кто адаптировался к Модели I, **ведет себя в соответствии с определенными** ценностями и правилами.

— Выполняй задачу так, как я ее определил.

— Взаимодействуя с другими с позиций победителя/проигравшего, всегда старайся победить и избежать поражений.

— Избегай негативных эмоций, раздражения и возмущения.

— Веди себя рационально, будь любезным, убедительным, используй логические аргументы.

Чтобы добиться этого, используются следующие стратегии.

— Полностью контролируй задачу.

— Всегда защищай себя, независимо от того, нужно это в данный момент или нет.

— Защищай другого, независимо от того, желает ли он, чтобы его защищали.

Когда несколько сторон ведут себя в соответствии с Моделью I, всегда возникают одни и те же, хорошо предсказуемые последствия. Поведенческий мир, в котором есть опыт межличностных взаимодействий, всегда стремится к стратегии победы/поражения[12].

Победа/поражение, знание и контроль, всеведение и всесильность, попытка найти постоянное решение для проблем, у которых в принципе его нет, — все это признаки политики, и все они вошли в представления разработчиков компьютерных моделей, равно как и тех, кто имеет отношение к консультациям по политическим вопросам.

Принципиально иной тип мышления, который может изменить не только область моделирования, но и социальные системы, начинается с пересмотра основных представлений — о том, что социальные системы в принципе познаваемы и что ими можно управлять. Признание обществом собственного незнания и невежества уже может вызвать ощущение неуверенности и легкого головокружения, ведь это подвергает сомнению основы, на которых оно построено. Но через некоторое время станет понятно, что при этом открываются новые пути — от властного лидерства, требующего точности и непогрешимости, к честному и открытому перестроению методом проб и ошибок. Только путем эксперимента, последующего анализа результатов и дальнейших проб можно идти дальше. Нужно открыто признать, что все знать невозможно, допустить определенный уровень неизвестности и продолжать познание[13, 14].

Если разработчики моделей перестанут самих себя воспринимать как научные придатки политического процесса, это позволит им стать

экспериментаторами и в корне изменит стиль работы. Больше не придется создавать сверхсложные модели, чтобы замаскировать незнание. Они перестанут бояться ошибиться. Разработчики смогут включиться в экспериментальную работу, делиться своими ошибками и учиться на них, открыто сотрудничать и предоставлять всю информацию о своих проектах.

Для нас как специалистов самое печальное следствие «Модели I», стремящейся к знанию и контролю, состоит в том, что методы компьютерного моделирования искажаются, превращаются в инструмент решения заведомо невозможной задачи — предсказания, оптимизации, предписывания, вместо того, для чего они лучше всего подходят. Разработчики прикладывают все силы, стремясь к тому, чего на самом деле добиться нельзя, но при этом в упор не видят область, где потенциал моделирования огромен — социальные эксперименты и построение систем. Модели можно использовать, чтобы социальные представления стали более содержательными и внутренне непротиворечивыми, отличными от того, что навязывают нам мысленные модели. Они могут быть средством для проведения убедительных экспериментов, для активной проверки социальных теорий — гораздо более дешевым, чем непосредственные эксперименты на людях и обществе. Модели позволяют отрабатывать неточные стратегии, которые хорошо работают в разнообразных условиях — лучше, чем точные программы, которые пытаются оптимизировать нечто до конца не понятое и не изученное. Что еще важнее, модели могут служить средством для обмена информацией, чтобы в социальной системе можно было выразить и объединить самые разные представления, частные и мысленные модели.

Представление о политическом деятеле как всезнающем и всесильном правителе надо изменить — политик должен быть социальным инженером, создателем систем, ответственным и умеющим сотрудничать. Создание систем — процесс экспериментальный, и проходить он должен демократическим путем[15].

Компьютерное моделирование как средство для изучения общества и создания систем (а не способ достичь определенности и обеспечить контроль) хорошо подходит для использования как инструмент научного познания. Но мы считаем, что двух этих представлений все-таки недостаточно. Внимание моделирования как рода занятий надо сместить с технических и рациональных аспектов (которые продолжают оставаться важными) немного в другую сторону, потому что нельзя забывать о скромности, честности, умеренности, уязвимости и сострадании. Об этих человеческих качествах редко вспоминают применительно к устоявшемуся представлению о разработчике компьютерных моделей, но они критически важны для нового понимания этой профессии.

17.4. Создатели моделей — обычные люди

Опубликованные работы по компьютерному моделированию (включая книгу, что вы держите в руках) практически не затрагивают вопрос личного сознания и индивидуальности разработчиков моделей. Описания, которые публикуют создатели моделей, и наше представление чужих систем в части III, составленное в обычном ключе, говорит о чем угодно, кроме личности разработчиков. Если вы однажды обратили на это внимание, то затем начинаете замечать повсюду. Трудно себе представить, что работы, например, художника или писателя будут обсуждаться в отрыве от его или ее биографии, склонностей, отношений с родителями или супругами, возраста на момент создания произведения, состояния общества в тот момент, психологической стабильности... Но когда речь заходит о создателях компьютерных моделей, об ученых или (правда, в меньшей степени) о политиках, тема становится практически запретной.

И все равно в нашем описании работ других специалистов проскакивали определенные факты, характеризующие их личностные качества. Между тем личность создателя модели, хотя и не обсуждается открыто, в неявном виде определяет содержание модели и имеет на самом деле решающее значение. Люди, создающие компьютерные модели социальных систем, принадлежат к той самой облеченной властью группе, которая определяет само общество. Их деятельность внутри системы влияет на нее саму. Чтобы признать ответственность за то, что модели (как минимум частично) формируют реальность, разработчики должны быть не только хорошими учеными, но и хорошими людьми — открытыми, мудрыми, проницательными, чуткими, способными к сопереживанию. А ведь этому нигде не учат, по таким критериям отбор не проводится...

> Основное условие для обучения — признание ошибок. Если в процессе что-то пошло не так, как вы ожидали или надеялись, нужно делиться информацией об этом и использовать ее. Но при таком признании ошибок (в сочетании с высокими уровнями неопределенности) мы становимся личностно очень уязвимыми. Обычно люди даже себе не признаются в своих слабостях, что уж говорить о признании своих ошибок перед другими... Но если мы хотим добиться желаемого и построить жизнь иначе, то должны осознать свои подавляемые страхи и тревогу из-за уязвимости, научиться жить с ними и творчески использовать их[16].

Представление об исследователе как объективном и безличном существе — миф, и он препятствует тому, чтобы люди проявляли мудрость и извлекали пользу из своих ошибок. Для этого нужно другое представление о разработчиках и аналитиках — как о личностях, ко-

торые умеют использовать рациональный инструментарий, но которые при этом признают собственную нерациональность.

Никакая деятельность человека, включая научную, и компьютерное моделирование в том числе, не может быть абсолютно объективной. Личность исследователя влияет на любой этап моделирования в гораздо большей степени, чем готовы признать сами разработчики. Это касается и выбора метода, и постановки вопроса, и формулирования уравнений, и, разумеется, взаимодействия с заказчиком и представления ему готовых результатов. В каждой модели неуловимо отражаются не только взгляды, опыт и профессиональный уровень ее создателей, но и их склонности, предубеждения, страхи, подавленные желания и воспоминания, то, что дорого, и то, что ненавистно. Компьютерное моделирование — как и наука, политика, бизнес — занятие, в котором человеческое начало имеет ключевое значение.

Все это вызывает беспокойство только у тех людей, кто отказывается признавать «человечность» в наших областях деятельности, и только в том случае, если кто-то упорствует в представлении о социальных системах как объективно познаваемых и контролируемых. Если вместо этого признать их человеческое начало, то разработчики компьютерных моделей перестанут тратить силы на то, чего добиться невозможно (абсолютно объективное и полное понимание) и смогут направить свою энергию на реально достижимые цели. Это позволит поделиться ви́дением и восприятием с другими, глубже разобраться в том, почему люди поступают так, а не иначе, ценят одно и презирают другое, чему-то сопротивляются, а что-то поддерживают.

Наша сфера деятельности гораздо шире, чем то, что принято считать границами науки. Она затрагивает две области, в которых большинство ученых чувствуют себя неуверенно и где принято проявлять скептицизм. Первая из них лежит где-то на пересечении психологии, психотерапии, религии, философии и сознания. Вторая — самоанализ, готовность внимательно изучить собственный опыт, оценить влияние интуиции и эмоций. Для ученого, прошедшего традиционную подготовку, это неимоверно трудная задача. Но, несмотря на все отличие подобных процессов от естественнонаучной области, они абсолютно необходимы для социальных наук, поскольку в них исследователь не может рассматриваться в отрыве от изучаемой системы. И никогда не сможет. Чтобы сделать научные методы приложимыми к социальным системам, ученые обязаны очистить их от неизученных предубеждений и нераспознанных эмоций.

Создатели моделей — обычные люди, ничто человеческое им не чуждо. Их нельзя считать безличными, машиноподобными, непогрешимыми, не подвластными эмоциям. Они совершают ошибки, на которых учатся и профессионально растут. Их работы не всегда идеальны, но когда задача выполнена качественно, они способны это уви-

деть и признать. Они стремятся творить, внедрять новое, стараются превзойти собственную ограниченность и при этом отчаянно цепляются за старые привычки. У каждого случаются гениальные прозрения и профессиональные прорывы, и у каждого бывают периоды, когда ощущаешь себя в полном тупике и начинаешь сомневаться в собственных способностях. В той мере, в какой разработчики способны признать собственную удивительную сложность, они смогут признать ее и в других, включая заказчиков и тех, из кого состоят изучаемые системы. Тогда моделирование станет более точным, полезным и практически применимым.

Создатели моделей — сами часть системы, как и все мы. В моделях отражаются их парадигмы, на них влияют пределы собственного опыта, мысленных категорий и воображения. Разработчики влияют друг на друга, ощущают поддержку или ее отсутствие, реагируют на потоки системной информации, на стимулы и наказания. Они могут отразить структуру системы только в том случае, если четко осознают свое место внутри системы и ее влияние на самих себя.

Создатели моделей нуждаются в коллегах точно так же, как люди нужны друг другу. Это позволяет упорядочивать отдельные и частично верные взгляды каждого, собирая общую мозаику из кусочков, объединяет очень разные методы, дисциплины и таланты разработчиков. Сами модели очень хорошо демонстрируют, что ни один человек или сектор экономики, ни одна компания или страна не может добиться успеха на фоне неудачи остальных, но что каждый может преуспеть, если его поддерживают другие.

Как и всем людям, разработчикам не все равно. Принятое сейчас повсеместно представление современных людей о себе не позволяет с легкостью признать или открыто выразить свою обеспокоенность благополучием планеты и тех, кто живет на ней. Но такая обеспокоенность есть. Мы почувствовали это во всех моделях, описанных в нашей книге, — значит, их создатели испытывали такие чувства. То же самое можно сказать обо всех разработчиках, с кем мы знакомы лично. Все они разделяют представление о том, что мир может быть гораздо лучше и что компьютерное моделирование способно помочь в достижении этой цели. Иначе к чему было посвящать себя работе в такой сложной области, отбирающей столько сил?

Задача в том, чтобы сочетать более строгое научное представление о себе с более снисходительным человеческим взглядом. Это классическая проблема расхождения, задача примирить в нашей культуре взгляды на мир, которые принято считать взаимоисключающими. Допущение обеих противоположностей сразу может усилить обе стороны, и это хорошо известно восточному мышлению со времен Будды. Для носителей западного мировоззрения эту возможность другими словами изложил Роберт Пирсиг. В приводимых ниже цитатах мы из-

менили лишь одно: то, что говорилось о механиках, вполне применимо к разработчикам моделей.

В прошлом наша общая вселенная разума находилась в процессе побега, отрицания романтического, иррационального мира доисторического человека. С досократовских времен существовала необходимость отрицать страсти, эмоции, чтобы освободить рациональный ум для понимания порядка природы, еще пока неизвестного. Теперь пришло время углубить понимание порядка природы, реассимилировав те страсти, от которых сначала бежали. Страсти, эмоции, царство аффектов человеческого сознания — тоже часть порядка природы. Центральная часть.

Разница между хорошим разработчиком моделей и плохим — способность *отбирать* хорошие факты из плохих на основе качества. Хороший разработчик просто обязан быть *неравнодушным*! Это способность, о которой формальному традиционному научному методу нечего сказать. Чтобы выразить это более конкретно: если хочешь построить фабрику, или починить мотоцикл, или направить нацию по верному пути — и не застрять, то классическое, структурированное, дуалистическое, субъектно-объектное знание хотя и необходимо, но не достаточно. Должно быть еще какое-то чувство насчет качества работы. Ощущение того, *что* хорошо. Вот что влечет вперед.

Думаю, если мы собираемся переделать мир, сделать его более пригодным для жизни, то делать это надо не разговорами об отношениях политического характера, которые неизбежно дуалистичны, полны субъектов, объектов и отношений между ними; и не программами, полными тем, что нужно делать другим людям. Я думаю, такой подход начинает с конца и предполагает, что конец — и есть начало. Программы политического характера — важные *конечные продукты* социального качества, которые могут стать эффективными, только если правильна структура, лежащая в основе общественных ценностей. Общественные ценности верны, только если верны индивидуальные ценности. Улучшать мир нужно сначала в собственном сердце, голове и руках, а уже потом работать оттуда наружу[17].

Разработчики могут считать себя действующими из лучших побуждений, но практически бессильными на фоне политических игр, зависящими от заказчиков и спонсоров, которые стремятся к собственным целям и не склонны воспринимать советы, хоть в чем-то отличающиеся от их взглядов. Создатели моделей могут представлять себя отстраненными, объективными наблюдателями, правоту которых защищает официальная статистика и подтверждает метод наименьших квадратов. Они могут думать, что знают о системе больше, чем кто бы то ни было, расценивать знание как необходимое условие для действия, а ошибки — как подтверждение некомпетентности. Разработчикам может казаться, что их главный вклад в развитие общества — использование численных методов и параметров с большим количеством значащих цифр. Несложно вообразить, какой вид структуры и какое

поведение станут следствием подобных представлений — именно так и выглядит сейчас область системного анализа.

Но разработчики могут смотреть на себя иначе: как на ответственных, не ограниченных краткосрочными интересами специалистов, заботящихся о процветании всего человечества. Они могут расценивать свою работу как упорядочивающую, разъясняющую, коллективно-исследовательскую. Больше слушать и меньше говорить. Задавать вопросы, на которые люди действительно хотят получить ответы. Вырабатывать представления, строить системы и проводить эксперименты. Создатели моделей вполне могут примириться с тем, что они такие же люди, как и все, имеют сердце, мозг, личностные ценности, предубеждения, моральные устои и слепые зоны. Они имеют право на ошибки, могут быть уязвимыми, неравнодушными, идеалистичными. Могут исповедовать высочайшие стандарты формирования научных гипотез и их опровержения, но при этом придерживаться еще и высочайших человеческих стандартов честности, прямоты, сострадания и стремления к истине. Мы можем себе представить, какой тогда станет система моделирования. Именно это и будет настоящим преобразованием, переходом на новый качественный уровень.

Ссылки на источники

1 *Pirsig R.M.* Zen and the Art of Motorcycle Maintenance. Toronto: Bantam Books, 1975. P. 94. Книга неоднократно издавалась на русском языке в разных переводах. См., например: *Пирсиг Р.* Дзен и искусство ухода за мотоциклом: пер. с англ. М.: Симпозиум, 2003. 512 с.

2 *Berger P.L., Luckman T.* The Social Construction of Reality // New York: Anchor Books, 1967. C. 60 и 89.

3 *Majone G.* Pitfalls of Analysis and the Analysis of Pitfalls // Urban Analysis. 1977. 4. C. 249.

4 *Platt J.* Strong Inference // Science. 1954. 146 (3642). 16 октября. C. 347.

5 Ранее упомянутый источник: *Platt J.* Выделение курсивом сделано нами.

6 Избранные работы: *Neumann J. von.* London: Pergamon Press, 1963. Vol. VI. C. 101.

7 *Schön D.A.* The Reflective Practitioner. New York: Basic Books, 1983. C. 148 и 150—151.

8 Ранее упомянутый источник: *Pirsig R.M.*, с. 160—161. Цитата приводится по переводу М. Немцова, 1989 г.

9 См., например, семь глобальных моделей, описанных в книге: *Meadows D., Richardson J., Bruckmann G.* Groping in the Dark. Chichester: John Wiley & Sons, 1982.

10 *Schumacher E.F.* Small is Beautiful. New York: Harper & Row, 1973. C. 97—99.

[11] *Michael Donald N.* Competence and Compassion in an Age of Uncertainty // World Future Society Bulletin. 1983. Январь/февраль.

[12] Ранее упомянутый источник: *Schön D.A.*, с. 226—227.

[13] *Brewer G.* Politicians, Bureaucrats and the Consultant. New York: Basic Books, 1973. С. 234.

[14] Ранее упомянутый источник: *Michael D.*

[15] *Cowperthwaite W.S.* Society by Design // Manas. 1983. 14 декабря. XXXVI, 50, 1.

[16] *Michael D.*, в издании: *Linstone H.A., Simmonds W.H.C.* (ред.). **Futures Research**. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1977. С. 98—99.

[17] По мотивам нескольких цитат из ранее упомянутого источника: *Pirsig R.M.* Приводится по изданию: *Пирсиг Р.* Дзен и искусство ухода за мотоциклом: пер. с англ. М.: Симпозиум, 2003. 512 с.

Эпилог

Компьютер как оракул — вполне ожидаемая картина, соединяющая в себе современность с античностью. Она иллюстрирует вечное желание знать будущее, чтобы принимать мудрые решения в настоящем. Но даже на ранних стадиях человеческого общества были доступны другие источники знаний, в корне отличающиеся от оракулов. Настоящие мудрецы и мастера своего дела, не стремящиеся к известности и не ищущие популярности при дворах владык, отрицали возможность и пользу от знания будущего. Их интересовал не хрустальный шар, а тот, кто всматривается в него. Вместо того чтобы делать предсказания, они занимались совсем другим:

- задавались вопросом о том, как мы можем знать то, что, как мы думаем, нам известно;
- демонстрировали ложность определенных предположений;
- изучали вопросы повседневной жизни в более отдаленной перспективе;
- показывали всеобщую взаимосвязанность;
- подчеркивали, что мудрость надо искать в себе, а не где-то снаружи.

Оракулы давали практично звучащие советы, которые в то время казались неопровержимыми. Большинство из них уже забылись, а те немногие, что остались в памяти, оказались не такими уж точными и полезными. Но тех мудрецов, кто больше говорил о настоящем, чем о будущем, и больше стремился к согласию между людьми, а не манипулированию ими, цитируют до сих пор. Их высказывания используют и размышляют над ними даже сейчас, тысячи лет спустя...

> Всему свое время, всякому делу под небесами. Время родиться и время умирать, время насаждать и время вырывать насаждения. Время убивать и время исцелять, время разрушать и время строить. Время разбрасывать камни и время собирать камни, время обнимать и время избегать объятий.
>
> *Экклезиаст*

Все деяния совершаются в свой срок благодаря взаимодействию сил природы, но человек, потерявшись в своих эгоистичных заблуждениях, считает деятельной силой именно себя. Тот же, кто знает о взаимосвязи между силами природы и деяниями, замечает, как одни силы природы влияют на другие силы, и потому не становится их рабом.

Бхагавад Гита

Тот, кто спорит, не видит пути.

Чжуан-цзы

Любой путь — это всего лишь путь, и ничто не мешает оставить его, если тебе так велит поступить сердце... На любой путь смотри прямо и без колебаний. Пытайся идти по нему столько раз, сколько потребуется. А потом спроси себя, и только себя: есть ли у этого пути сердце? Если есть, то это хороший путь. Если нет, то от него никакого толку.

Карлос Кастанеда
«Учение дона Хуана»

Меня совершенно не заботит, выгляжу ли я последовательным. В своем стремлении к истине я отринул множество идей, но научился многому другому... Я забочусь о том, чтобы быть готовым подчиниться зову истины.

Мнения, которые у меня сформировались, и заключения, к которым я пришел, не окончательны. Я могу завтра же изменить их... Все, что я делал — пытался и пробовал... в меру своих возможностей и сил.

Махатма Ганди

Когда в стране много запретительных законов, народ становится бедным.

Когда у народа много острого оружия, в стране увеличиваются смуты.

Когда много искусных мастеров, умножаются редкие предметы.

Когда растет число законов и приказов, увеличивается число воров и разбойников.

Поэтому совершенно мудрый говорит:

«Если я не действую, народ будет находиться в самоизменении;
если я спокоен, народ сам будет исправляться.
Если я пассивен, народ сам становится богатым;
если я не имею страстей, народ становится простодушным».

Лао-Цзы
Дао дэ Цзин

Человек описывает самого себя, когда считает, что описывает других...

Когда он говорит: «Это учение хорошее», то имеет в виду: «Пожалуй, это мне подходит». Но мы хотели узнать об учении, а не о том, что он думает про влияние учения на него самого.

Чтобы узнать природу учения, нам потребовалось бы знать природу того человека, на которого оно оказывает действие. Обычный человек этого знать не может. Ему известно только то, что этот человек считает влиянием на себя. При этом он не имеет осознанного представления о том, чем является «он сам»...

Помните, что до тех пор, пока сохраняется такое положение, всегда будет находиться одинаковое число людей, которые говорят: «Это чудесно» и «Это загадочно». «Это загадочно» в действительности означает: «Мне это *кажется* загадочным». А «Это чудесно» означает: «Мне это *кажется* чудесным».

Хотелось бы вам уметь проверять, что в действительности чудесно, а что загадочно?

Вы можете делать это, но не тогда, ... когда абсолютно не имеете уверенности о том, что вы собой представляете и почему не любите одно и любите другое.

Если вы нашли себя, у вас есть знание. До той поры вы имеете лишь мнение.

Вы еще не встретили самого себя. Единственная выгода от того, что вы пока встречаетесь только с другими, состоит в том, что один из них, может быть, представит вас самому себе...

Когда вы действительно встретите самого себя, то станете постоянно стремиться к знанию. Равного этому нет на земле.

Тарикави в пересказе Идрис Шаха[1]

Мы писали эту книгу на протяжении долгого времени. Так получилось потому, что другая работа отнимала очень много сил. В основном она касалась моделирования — преподавание методов, создание моделей, работа с заказчиками (успешная и безуспешная), участие в конференциях (где разработчики говорят о своих творениях с разной степенью честности и откровенности), наблюдение за тем, как политики используют модели по назначению (или не используют, а может, используют, но превратно)...

Наше собственное представление о моделировании за эти годы очень углубилось и расширилось. Из-за этого некоторые части книги даже пришлось переписать заново. Первое прозрение состояло в том, что мы стали меньше интересоваться методами, данными и оборудованием для моделирования и больше внимания уделять людям, которые им занимаются.

Пока мы учились и изменялись сами, развивался и мир моделирования. История девяти моделей продолжается, их влияние на мир сказывается и сейчас. За это время разработчики и большинство из тех, с кем нам довелось встречаться, очень выросли в личностном плане. Переписывая определенные главы, нам пришлось вычеркнуть многие едкие замечания и исправить тон изложения, поскольку он был слишком пессимистичен.

На наших глазах многие создатели моделей становились более человечными, не такими жесткими и машиноподобными, как раньше, более открытыми. Люди уже меньше стремились к тому, чтобы казаться всезнающими, с большей готовностью и охотой обсуждали, что именно они знают, а что нет. В литературе эта перемена тоже нашла свое отражение — появились интересные статьи о философии познания, о человеческих взаимоотношениях, этических вопросах, парадигмах[2]. Разработчики начинают видеть себя не столько техническими специалистами, претендующими на объективность, сколько участниками социальных систем, действующими из лучших побуждений, но склонными к ошибкам, как и все мы. Но при этом каждый может привнести в систему что-то свое...

Мы уверены, что такое постепенное «очеловечивание» моделирования неслучайно, это неизбежное следствие самого процесса моделирования. Компьютер — не оракул, на который можно полагаться во всем, и никогда им не будет. Но он может быть жестким и очень строгим учителем, который требует на входе предельной точности, непротиворечивости, явного описания и выдает в ответ безупречно логичный результат, вытекающий из заданных условий. И при этом не делает никаких скидок на то, *что* разработчик ожидал или надеялся увидеть. Моделирование заставляет разработчиков изучать взаимосвязи разных областей и наглядно показывает, что границы между научными дисциплинами и политикой очень условны — они в нашем воображении, в реальном мире их нет. Конфликт разных парадигм моделирования пробуждает интерес к самому понятию парадигмы и к их сути; отсюда вытекает понимание того, как мысленные модели влияют на мир. Любой создатель модели, работающий с описанием социальных систем на жестком компьютерном языке, неизбежно столкнется с понятием неопределенности, с проблемой неточности и неполноты данных, с вечным стремлением взаимосвязанных элементов вести себя не так, как ожидалось. Молодые специалисты могут идти в разработчики в надежде стать современными оракулами, узнать все, что требуется, и научиться предвидеть будущее. Но даже если и так, сама профессия подтолкнет их в нужном направлении — к тому, чтобы стать мудрее, подвергать сомнению и анализу принятые представления, изучать основные цели и стимулы, влияющие на принятие решений. И тогда будущее будут не предсказывать, а создавать.

Мы уже перечисляли пять основных преимуществ компьютерного моделирования, которые позволяют человеку добиться большего, чем могут дать мысленные модели:

1) строгость;
2) полнота;

3) логика;
4) понятность;
5) гибкость и тестируемость.

Основные проблемы, преследующие современные социальные системы, — нищета и голод, гонка вооружений и терроризм, деградация окружающей среды и истощение ресурсов — без сомнения, будет проще решать, если перечисленные пять преимуществ станут постоянно использоваться для принятия решений. Но мы говорили и о том, что эти качества не удастся задействовать до тех пор, пока разработчики моделей не станут более скромными, открытыми, ответственными, преданными своему делу, пока не научатся состраданию и мудрости. Если *эти* качества будут постоянно использоваться при принятии решений, то мировые проблемы наверняка удастся разрешить.

Ссылки на источники

[1] *Shah Idries* Wisdom of the Idiots. New York: E.P. Dutton, 1971.

[2] Ряд отличных примеров приведен в работах: *Linstone H.A., Simmonds W.H.C.*, Future Research. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1977; *Schön D.A.* The Reflective Practitioner. New York: Basic Books, 1983; схожие тенденции прослеживаются и в мире бизнеса, см. книгу: *Peters T.J., Waterman R.H.* In Search of Excellence. New York: Harper and Row, 1982.

Алфавитный указатель

Английские обозначения:

BACHUE, *см.* модель BACHUE
CHAC, *см.* модель CHAC
DOE, *см.* Министерство энергетики США
DYNAMO, *см.* язык программирования DYNAMO
EFA, *см.* Уортонская ассоциация экономического прогнозирования
EFU, *см.* Уортонское подразделение экономического прогнозирования
EPA, *см.* Агентство по защите окружающей среды США
FAO, *см.* Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН
FORTRAN, *см.* язык программирования FORTRAN
Global 2000, *см.* исследование Global 2000
IIASA, *см.* Международный институт прикладного системного анализа
ILO, *см.* Международная организация труда ООН
IRT, *см.* корпорация IRT
KASM, *см.* модель KASM
LTSM, *см.* модель LTSM
MexicoV, *см.* модель MexicoV
MIT, *см.* Массачусетский технологический институт
MSU, *см.* Университет штата Мичиган
NAERI, *см.* Корейский национальный исследовательский институт экономики сельского хозяйства
RfF, *см.* модель RfF
Resources for Future (RfF), *см.* «Ресурсы для будущего»
SAHEL, *см.* модель SAHEL
SOS, *см.* модель SOS
TEMPO, *см.* модель TEMPO
UNFPA, *см.* Фонд ООН в области народонаселения
USAID, *см.* Агентство США по международному развитию

А

Агентство по защите окружающей среды США 29, 139, 192
Агентство США по международному развитию 29, 30, 214
адекватность модели 32, 71, 245

Б

Банк Мексики 30, 451
Барни, Джеральд О. 5, 19
Бельтран дель Рио, Абель 30, 292—297, 303—309, 331, 361, 396, 397, 417
Бленди, Ричард 254

В

Вальрас, Леон 89
вектор ошибок в эконометрических уравнениях 74
Вери, Рене 30, 254
взаимосвязи
  детерминистские 47
  дискретные 47
  линейные 47
  нелинейные 47
  непрерывные 47
  с задержкой по времени 48
  синхронные 48
  стохастические 47
внешние факторы и переменные 35, 160, 162, 174, 175, 177, 233, 279, 297, 437
внутренние факторы и переменные 35
временны́е задержки 294, 295, 325
Всемирный банк, 30, 141, 311, 312, 446, 450
выпуск промышленной продукции
  в модели LTSM 243
  в модели SOS 205
  в модели TEMPO 399
выпуск сельскохозяйственной продукции
  в модели CHAC 324
  в модели KASM 280
  в модели LTSM 243

Г

граничные диаграммы 15, 143, 319
границы в моделях
  диаграмма модели BACHUE 258
  диаграмма модели CHAC 319, 320
  диаграмма модели KASM 277
  диаграмма модели LTSM 235
  диаграмма модели MexicoV 297, 298
  диаграмма модели RfF 177
  диаграмма модели SAHEL 158
  диаграмма модели SOS 197
  диаграмма модели TEMPO 219

Д

Данциг, Джордж Б. 101
данные
  в модели BACHUE 265
  в модели CHAC 325—326
  в модели KASM 279—281
  в модели LTSM 244
  в модели MexicoV 303—304
  в модели RfF 180—182
  в модели SAHEL 164
  в модели SOS 206
  в модели TEMPO 222—224
Дельфийский оракул 24, 26, 37
демографический переход 344, 349, 351, 353
диаграмма границ 143—144
документирование
  модели BACHUE 270—271
  модели CHAC 334—335
  модели KASM 289—291
  модели LTSM 249—252
  модели MexicoV 308—310
  модели RfF 188—191
  модели SAHEL 170—171
  модели SOS 211—213
  модели TEMPO 229—230
достоверность модели 88, 129, 266, 326, 482, 493
Дюлой, Жак 30

З

задержки временны́е 294, 295, 325
заказчики моделей 123, 152, 155, 193, 211, 231, 270, 285, 312, 313, 332, 347, 348, 358, 363, 426, 427, 436, 442, 443, 444, 446, 447, 449, 450, 452—458, 481—483, 506, 513
запаздывания
  в методе «затраты-выпуск» 95
  в системной динамике 62, 65, 66, 67
  в эконометрике 84

И

имитационное моделирование 53, 54, 66, 77, 112, 128, 139, 140, 216, 234, 273
инвестиции, *см.* распределение инвестиций
индустриализация 29, 31, 32, 166, 255, 337, 339—421, 424, 426, 439
исследование Global 2000 17, 36, 40, 133

К

Кейнс, Джон Мейнард 297, 337
Кенэ, Франсуа 88
Клейн, Лоуренс 146, 292, 293, 304
Кобба-Дугласа производственная функция 148, 216, 218, 364, 377, 398
Комиссия по росту численности населения и будущему Америки 29, 172, 176, 186, 187, 189
компьютерные модели, *см.* модели компьютерные
Корейский национальный исследовательский институт экономики сельского хозяйства 516
Корейское Министерство сельского хозяйства и рыболовства 30, 451
Корнаи, Янош 233
корпорация IRT 176, 188, 190, 516
корреляционная связь 34, 145
Коула-Гувера система 253, 254, 433
Кун, Томас Сэмюэл 42

Л

Леонтьев, Василий 89
Лин, Ву-Лонг 30
линейное программирование 15, 41, 44, 101, 107, 112, 141, 274, 311, 466
линейность 66, 95, 96, 100, 127, 194, 195, 195
лица, принимающие решение 105, 215, 308, 468

М

Майзер, Хью Дж. 5, 17, 20
Майкл, Дональд 502
Мальтуса теория 495
Мартос, Бела 30, 233, 249, 417
Массачусетский технологический институт 29, 53, 67, 115, 118, 128, 136, 139, 154, 170, 171, 415, 516
матрица технических коэффициентов в методе «затраты-выпуск» 180
Международная организация труда ООН 30, 140, 516
Международный институт прикладного системного анализа 5, 516
межотраслевой баланс, *см.* метод «затраты-выпуск»
метод «затраты-выпуск»
  истоки метода 88—89
  основные области применения 96—97
  особенности метода 94—96
  пример модели 89—94
  проблемы и ограничения 97—100
метод наименьших квадратов в модели «затраты-выпуск» Элмона 174—176
метод оптимизации
  в модели СНАС
  истоки метода 101
  основные области применения 108
  особенности метода 105—108
  пример модели 101—104
  проблемы и ограничения 109
миграция
  в модели BACHUE 258
  в модели CHAC 320
  в модели KASM 277
  в модели LTSM 235
  в модели MexicoV 299
  в модели RfF 177
  в модели SAHEL 158
  в модели SOS 197
  в модели TEMPO 219
Министерство энергетики США 516
модели для общего понимания 66, 68, 83, 170, 274, 281
модели для разработки стратегий 192, 194, 273, 312, 449
модели компьютерные
  определение 33
  преимущества 26—27
модели математические 25, 26
модели мысленные, определение 33
модели — «черные ящики» 12, 110, 275, 434, 488
модель Клейна, *см.* эконометрическая модель Клейна для периода между двумя войнами 146

модель Лотки-Вольтерра 194
модель BACHUE
  выводы 267—269
  границы 257—259
  данные 265
  документирование 270—271
  методы 255—257
  организационные вопросы 269—254
  реализация на практике 269—270
  структура 260—264
  тестирование 265—267
  требования к компьютеру 270
  цели 254—255
модель CHAC
  выводы 327—332
  границы 318—320
  данные 325—326
  документирование 334—335
  методы 313—318
  организационные вопросы 311—312
  реализация на практике 333—334
  структура 320—325
  тестирование 326—327
  требования к компьютеру 332—333
  цели 312—313
модель KASM
  выводы 281—285
  границы 275—276
  данные 279—281
  документирование 289
  методы 274—275
  организационные вопросы 272—273
  реализация на практике 286—288
  структура 276—279
  тестирование 285—286
  требования к компьютеру 288
  цели 274
модель LTSM
  выводы 247—248
  границы 234—236
  данные 244
  документирование 249—250
  методы 233—234
  организационные вопросы 231
  реализация на практике 248—249
  структура 236—244
  тестирование 245—246
  требования к компьютеру 249
  цели 232—233
модель MexicoV
  выводы 305—307
  границы 296—297
  данные 303—304
  документирование 308—309
  методы 293—295
  организационные вопросы 292—293
  реализация на практике 307—308
  структура 297—303
  тестирование 304—305
  требования к компьютеру 307
  цели 293
модель RfF
  выводы 184—187
  границы 176—178
  данные 180—182
  документирование 188—189
  методы 173—176
  организационные вопросы 172—173
  реализация на практике 187—188
  структура 178—180
  тестирование 182—184
  цели 173
модель SAHEL
  выводы 164—166
  границы 156—166
  данные 164
  документирование 170
  методы 156
  организационные вопросы 154—155
  реализация на практике 168—170
  структура 157—163
  тестирование 166—168
  требования к компьютеру 168
  цели 155
модель SEAS 188, 192, 206, 209
модель SOS
  выводы 208—210
  границы 196—198
  данные 206
  документирование 211—212
  методы 194—195
  организационные вопросы 192—193
  реализация на практике 210—211
  структура 198—206
  тестирование 206—208
  требования к компьютеру 211
  цели 193—194
модель TEMPO
  выводы 224—225
  границы 216—218
  данные 222—224
  документирование 229
  методы 216
  организационные вопросы 214—215
  реализация на практике 226—228
  структура 218—222

тестирование 226
требования к компьютеру 228—229
цели 215
мотивационные факторы 80, 430

Н

научный подход 309, 454, 494, 496
нелинейность 47, 66, 194, 195, 429
Никсон, Ричард М., президент США 172, 187
Нортон, Роджер 30

О

обобщения в моделях 98, 113, 297, 374
обратная связь
определение 34
поведение отрицательных петель обратной связи 159, 160
поведение положительных петель обратной связи 96, 159, 240
оптимизация, *см.* метод оптимизации
опустынивание 139, 165
основные характеристики модели, перечень для описания 138—143
оценка, *см.* численная оценка параметров
ошибка, *см.* вектор ошибок в эконометрических уравнениях

П

парадигма
метода «затраты-выпуск» 88—100
метода оптимизации 100—112
системной динамики 53—73
эконометрики 73—88
конфликт парадигм между эконометрикой и системной динамикой 114—130
определение 42—43
параметры восприятия, заложенные в модели, *см.* качественные показатели
параметры модели 71, 88, 209, 244, 295, 362, 367
Парето, Вильфредо 89, 325
перевыпас 155, 158, 159, 164, 165
переменные состояния, *см.* уровни
переход демографический 344, 349, 351
перечень основных характеристик модели 138—143
Пикарди, Энтони 29, 154—157, 161, 164—171, 309, 331, 350, 351, 354, 379, 425, 431, 432, 435, 437, 450, 451, 487
Пирсиг, Роберт М. 507, 509, 510
поведенческие уравнения в эконометрических моделях 77
потребление
в модели BACHUE 264
в модели LTSM 243
в модели TEMPO223
правдоподобность модели, определение 35
«Пределы роста», исследование 6, 7, 40
предположения, заложенные в модель 26, 28, 30, 431
предсказания 22, 23, 75, 130, 131, 150, 457, 465, 504, 511
предубеждения и предвзятые суждения
разработчиков моделей и заказчиков 481
авторов этой книги 36
преобразования 38, 113, 119, 131, 340, 356, 406, 432, 461, 463, 489, 490, 492, 509
причинно-следственные связи
диаграмма 144—146
прогнозирование 61, 73, 83, 88, 95, 96, 113, 121, 127, 129, 131, 132, 139, 141, 151
Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН 30, 140, 231, 232, 248, 249, 333
прозрачность расчетов, *см.* упрощения в моделях
производственная функция Кобба-Дугласа 148, 216, 218, 364, 377, 398
производственная функция Харрода-Домара 364, 378

Р

распределение выпущенной продукции 148, 204, 357
распределение доходов 150, 151, 232, 248, 254, 255, 257, 260, 263, 266, 267, 276, 296, 306, 307, 325, 332, 383, 391
распределение инвестиций 150, 154, 234, 363, 378

распределение рабочей силы 8, 154, 216, 300, 338, 383, 388—405, 418
реализация моделей на практике
  модель BACHUE 269—270
  модель CHAC 333—334
  модель KASM 286—288
  модель LTSM 248—249
  модель MexicoV 307—308
  модель RfF 187—188
  модель SAHEL 168—170
  модель SOS 210—211
  модель TEMPO 226—228
рекомендации и улучшения в области моделирования 481—483
«Ресурсы для будущего», организация 173
Ридкер, Рональд 173, 174, 176, 182, 187, 188, 450
Роджерс, Джеральд Д. 30
Рокфеллер, Джон Д. III 172

С

Сахель, Сахельский регион 29, 139, 154, 155—161, 164—170, 332, 366, 379, 391—395, 411, 431, 432, 445, 450, 451, 452, 487
Сейферт, Уильям 154, 170
система, определение 33
система Коула–Гувера 253, 254, 433
системная динамика
  выводы 72—73
  истоки метода 53—55
  основные области применения 67—68
  особенности метода 61—67
  пример модели 55—61
  проблемы и ограничения 68—72
системы уравнений в эконометрике 79
сложность в моделях, *см.* упрощения в моделях
составные модели 112—114
стравливание пастбищ, *см.* перевыпас
структура (структурная диаграмма)
для сравнения 147—151
  в модели BACHUE 260—264
  в модели CHAC 320—325
  в модели KASM 276—279
  в модели LTSM 236—244
  в модели MexicoV 297—303
  в модели RfF 178—180
  в модели SAHEL 157—163
  в модели SOS 198—206
  в модели TEMPO 218—222
  факторы, предположительно имеющие влияние 151

Т

теория Мальтуса 495
тестирование чувствительности
  в модели BACHUE 265—267
  в модели CHAC 326—327
  в модели KASM 285—286
  в модели LTSM 245—246
  в модели MexicoV 304—305
  в модели RfF 182—184
  в модели SAHEL 166—168
  в модели SOS 206—208
  в модели TEMPO 226
технические коэффициенты
  в методе «затраты-выпуск» 92, 96, 97
  в модели BACHUE 258
  в модели KASM 278
  в модели RfF 175, 178, 180
Тинберген, Ян 73, 337
точность модели, определение 35
трагедия общин 154—171
трансформирование, *см.* преобразования

У

Уильямс, Эдвард 29, 192—195, 208, 210, 211, 366, 432
Университет штата Мичиган 30, 171, 272, 274, 286—288, 451, 516
Уортонская ассоциация экономического прогнозирования 292, 516
Уортонское подразделение экономического прогнозирования 292, 516
упрощения в моделях 71, 78, 150, 341, 374, 376, 415, 426, 469
уровни (переменные состояния)
  в методе «затраты-выпуск» (межотраслевой баланс) 88, 97
  в методе оптимизации 102—110
  в системной динамике 62

Ф

Фонд ООН в области народонаселения 30, 231, 516

Форрестер, Джей Райт 9, 10, 20, 53, 66, 67, 116, 127, 128, 154, 156, 171, 233, 432
Фортран, *см.* язык программирования FORTRAN
функции, используемые при оптимизации 105—112

Х

Харрода-Домара производственная функция 364, 378
Хаус, Питер 29, 188, 192—195, 208, 210, 211, 366, 432, 448
Холлинг, К. С. 134
Хопкинс, Майкл Дж.Д. 30

Ц

целевая функция
  в методе оптимизации 102, 105, 106, 108, 110, 112
  в модели СНАС 314—316, 323

Ч

«черные ящики», *см. также* упрощения в моделях
численная оценка параметров 78
чувствительность моделей 152—153

Ш

Шон, Дональд 499, 503
Шумахер, Эрнст Фридрих 45, 388

Э

Эйдельман, Ирма 268
эконометрика
  выводы 87—88
  истоки метода 73—74
  основные области применения 82—83
  особенности метода 78—82
  примеры моделей 74—80
  проблемы и ограничения 83—87
эконометрическая модель Клейна для периода между двумя войнами 146
Элмон, Клоппер 174, 175, 178, 180, 182, 188, 189, 448
Энке, Стефен 214

Я

язык программирования DYNAMO 56, 57, 66, 68, 69, 156, 168, 249, 516
язык программирования FORTRAN 516

Оглавление

Посвящение 5
Выражение благодарности 5
Обращение к российским читателям 6
О Дане Медоуз 9
О репринтном издании «Электронного оракула» 14
Вступление 17

Часть I. Введение

Глава 1. Электронный оракул 25

1.1. Компьютерные модели: новые оракулы. 25
1.2. Сравнительный обзор моделей 28
1.3. Краткое содержание книги 32
1.4. Некоторые термины и определения 33
1.5. Личная позиция. 36

Часть II. Основные принципы моделирования

Глава 2. Модели для процесса моделирования 42

2.1. Понятие парадигмы 42
2.2. Распространенные заблуждения, предрассудки и цели моделирования 44
2.3. Парадигмы и основные принципы. 51
2.4. Составные модели 112
2.5. Пример конфликта парадигм: эконометрика и системная динамика. 114
2.6. Заключение 130

Часть III. Девять моделей

Глава 3. Как описать модель? 138

3.1. Перечень основных характеристик 138
3.2. Диаграмма границ 143
3.3. Причинно-следственная диаграмма 144
3.4. Структура для сравнения 147
3.5. Устойчивость и чувствительность 152

Глава 4. SAHEL: трагедия общин 154

4.1. Организационные вопросы 154
4.2. Цели 155
4.3. Методы 156
4.4. Границы 156
4.5. Структура 157
4.6. Данные 164
4.7. Выводы 164
4.8. Тестирование 166
4.9. Требования к компьютеру 168
4.10. Реализация 168
4.11. Документирование 170

Глава 5. RfF: превращаем трактор в комбайн 172

5.1. Организационные вопросы 172
5.2. Цели 173
5.3. Методы 173
5.4. Границы 176
5.5. Структура 178
5.6. Данные 180
5.7. Тестирование 182
5.8. Выводы 184
5.9. Реализация 187
5.10. Документирование 188

Глава 6. SOS: идеально приспособленное общество 192

6.1. Организационные вопросы 192
6.2. Цели 193
6.3. Методы 194
6.4. Границы 195
6.5. Структура 198
6.6. Данные 206
6.7. Тестирование 206
6.8. Выводы 208

6.9. Реализация 210
6.10. Требования к компьютеру 211
6.11. Документирование 211

Глава 7. TEMPO: обучаем страны третьего мира 214

7.1. Организационные вопросы 214
7.2. Цели 215
7.3. Методы 216
7.4. Границы 216
7.5. Структура 218
7.6. Данные 222
7.7. Выводы 224
7.8. Тестирование 226
7.9. Реализация 226
7.10. Требования к компьютеру 228
7.11. Документирование 229

Глава 8. LTSM: «гонка вооружений» между производством и потреблением 231

8.1. Организационные вопросы 231
8.2. Цели 232
8.3. Методы 233
8.4. Границы 234
8.5. Структура 236
8.6. Данные 244
8.7. Тестирование 245
8.8. Выводы 247
8.9. Реализация 248
8.10. Требования к компьютеру 249
8.11. Документирование 249

Глава 9. BACHUE: робот-сороконожка 253

9.1. Организационные вопросы 253
9.2. Цели 254
9.3. Методы 255
9.4. Границы 257
9.5. Структура 260
9.6. Данные 265
9.7. Тестирование 265
9.8. Выводы 267
9.9. Реализация 269
9.10. Требования к компьютеру 270
9.11. Документирование 270

Глава 10. KASM: сборная солянка, а не пюре 272

10.1. Организационные вопросы 272
10.2. Цели 274
10.3. Методы 274
10.4. Границы 275
10.5. Структура 276
10.6. Данные 279
10.7. Выводы 281
10.8. Тестирование 285
10.9. Реализация 286
10.10. Требования к компьютеру 288
10.11. Документирование 289

Глава 11. MexicoV: статистические заплатки 292

11.1. Организационные вопросы 292
11.2. Цели 293
11.3. Методы 293
11.4. Границы 296
11.5. Структура 297
11.6. Данные 303
11.7. Тестирование 304
11.8. Выводы 305
11.9. Требования к компьютеру 307
11.10. Реализация 307
11.11. Документирование 308

Глава 12. CHAC: оптимизация сельского хозяйства в Мексике 311

12.1. Организационные вопросы 311
12.2. Цели 312
12.3. Методы 313
12.4. Границы 318
12.5. Структура 320
12.6. Данные 325
12.7. Тестирование 326
12.8. Выводы 327
12.9. Требования к компьютеру 332
12.10. Реализация 333
12.11. Документирование 334

Часть IV. Современное положение дел

Глава 13. Составные элементы модели: процесс индустриализации 339

13.1. Рост численности населения 342

13.2. Производство и распределение 355
13.3. Изменения в технологиях 372
13.4. Миграция и распределение рабочей силы 388
13.5. Окружающая среда и природные ресурсы 405
13.6. Заключение 416

Глава 14. Качество моделирования: преимущества компьютерных моделей 423

14.1. Строгость 424
14.2. Полнота 428
14.3. Внутренняя логика 430
14.4. Понятность и доступность 433
14.5. Проверяемость 435
14.6. Заключение: есть что улучшить 438

Глава 15. Реализация: как меняется мир 442

15.1. Значимость моделей и применяемых стратегий: необходимое отступление от темы 443
15.2. Записи о реализации, какими мы их видим 448
15.3. Некоторые предположения 452

Часть V. Рекомендации и улучшения

Глава 16. Список предложений для улучшения 462

16.1. Проблемы с уровнем знаний 463
16.2. Организационные проблемы 466
16.3. Проблемы реализации на практике 469
16.4. Чем ценны рекомендации 479

Глава 17. Как меняется область моделирования 487

17.1. Первичные источники информации о структуре систем 491
17.2. Создатели моделей — ученые 493
17.3. Создатели моделей — политики 499
17.4. Создатели моделей — обычные люди 505

Эпилог 511

Алфавитный указатель 516

Научно-популярное электронное издание

Медоуз Донелла Х.
Робинсон Дженнифер М.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ ОРАКУЛ.
КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ И РЕШЕНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ**

Ведущий редактор *Ю. А. Серова*. Художник *Н. А. Новак*
Технический редактор *Е. В. Денюкова*. Корректор *Е. Н. Клитина*
Компьютерная верстка: *В. И. Савельев*

Подписано 14.01.13. Формат 70 × 100/16.
Усл. печ. л. 42,90.

Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний»
125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3
Телефон: (499) 157-5272, e-mail: binom@Lbz.ru, http://www.Lbz.ru

Системные требования: процессор *Intel* или совместимый с ним с тактовой частотой от 1,3 ГГц и выше; операционная система *Microsoft Windows XP*, *Vista*, *7* или *8*; от 256 Мб оперативной памяти; от 260 Мб свободного пространства на жестком диске; разрешение экрана не ниже 1024 × 768; программа *Adobe Reader* не ниже X.