ДЖ. ФОРРЕСТЕР

ОСНОВЫ КИБЕРНЕТИКИ ПРЕДПРИЯТИЯ

(ИНДУСТРИАЛЬНАЯ ДИНАМИКА)

Перевод с английского

Общая редакция и предисловие
Д. М. ГВИШИАНИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОГРЕСС»
МОСКВА 1971

338
979

Переводчики:

Л. А. Балыков, Л. Е. Балясный, А. И. Гоман, В. Ю. Невраев, Н. А. Палатников, В. Э. Рексин

Спецредакторы:

Ю. О. Любович и *Л. И. Турецкий*

В книге излагается метод динамического моделирования промышленных предприятий и промышленно-сбытовых систем с помощью электронно-вычислительных машин; рассмотрено применение этого метода для усовершенствования организационных форм и улучшения руководства предприятиями, а также для подготовки и обучения руководящего персонала.

Книга рассчитана на широкие круги инженеров-экономистов, работников научно-исследовательских институтов, преподавателей вузов и руководящих работников промышленности.

ДОНЕЦКИЙ ГОС. УНИВЕРСИТЕТ БИБЛИОТЕКА

Y51628

1-11-5
53 № 34-37-70

Редакция литературы по экономике и географии

ПРЕДИСЛОВИЕ

В решениях XXIV съезда КПСС и в Директивах по пятилетнему плану получили дальнейшее развитие применительно к современным условиям ленинские принципы научного руководства социалистическим строительством. Совершенствование методов управления производством и повышение уровня планово-экономической работы во всех звеньях народного хозяйства стали одной из центральных задач пятилетки.

Решения партии и правительства вооружили работников промышленности, руководящие органы и весь советский народ конкретной программой дальнейшего повышения экономической эффективности общественного производства путем совершенствования планового руководства экономикой, научного обоснования наших хозяйственных планов, улучшения управления промышленностью, всемерного развития инициативы и самостоятельности предприятий, создания их активной заинтересованности в результатах своей производственно-хозяйственной деятельности.

Осуществление решений XXIV съезда КПСС и Пленумов ЦК КПСС неизмеримо повышает ответственность хозяйственных кадров, инженерно-технического персонала и всего коллектива предприятий за наилучшую организацию труда и производства, за экономное, рациональное расходование материальных и денежных средств, за успешное освоение и использование научно-технических достижений и за действительно планомерное хозяйственное руководство, умелое применение экономических методов управления. Усиление экономического стимулирования промышленного производства, предусмотренное решениями съезда, создает благоприятные условия для проявления творческой организаторской инициативы руководителей предприятий и всех работников в изыскании и мобилизации всех внутрихозяйственных резервов для рационального использования производственных фондов и мощностей, наиболее полного удовлетворения потребительского спроса и требований заказчиков, обеспечения высокой рентабельности.

Неуклонно возрастающий уровень технического вооружения социалистической промышленности, увеличение масштабов производства, развитие специализации, кооперирования и комбинирования предприятий — все это усложняет управление промышленным производством и одновременно повышает роль управления. Успешное, научно обоснованное решение организационно-экономических вопросов становится во все большей мере важнейшим условием дальнейшего подъема и развития производства.

Новая техника производства базируется на небывалых достижениях современной науки, которая приобретает характер непосредственной производительной силы и решающего фактора в строительстве коммунизма. Мы являемся свидетелями возникновения и нарастания глубочайшей научно-технической революции во всех областях общественного производства, которая выражается в открытии новых, практически неисчерпаемых видов и источников энергии, способов ее получения, преобразования, передачи и использования. Не менее ярко сказывается научно-техническая революция в создании синтетических материалов. Последние не только расширяют сырьевые ресурсы и успешно заменяют природные виды материалов, но и обладают заранее заданными свойствами, которых не имеют обычные материалы. Это открывает широчайшие возможности развития производства неизмеримо более высококачественной продукции и применения новых технологических процессов, отражающих последние научные достижения химии, электроники и т. п.

Современная прогрессивная технология отличается такой интенсивностью и непрерывностью протекания производственных процессов,

что ее внедрение должно идти рука об руку с широкой комплексной механизацией и всесторонней автоматизацией применяемого оборудования. Создаются автоматически действующие системы машин, охватывающие в едином целостном комплексе технологические фазы превращения исходных материалов в готовую продукцию. Автоматические непрерывно-поточные комплексы внедряются даже в производства, отличающиеся дискретной структурой, многодетальностью и многозвенностью технологических процессов.

Это коренным образом изменяет профессиональный профиль, характер и условия труда непосредственных участников процесса материального производства. Резко повышаются и расширяются требования к их технической квалификации. Стираются грани между физическим и умственным трудом. Неизмеримо возрастает ответственность каждого работника за строжайшее соблюдение технологической дисциплины, за безотказную, надежную работу автоматизированных производственных звеньев, за умелое и эффективное управление соответствующими машинами, механизмами, приборами, аппаратурой, их быструю и рациональную настройку и четкое регулирование.

В этих условиях особенно актуальное и важное значение приобретают вопросы научной организации управления производством. Создается необходимость самого решительного преодоления имеющегося отставания методов управления, его форм и технических средств от быстро прогрессирующего технического уровня и усложняющейся организационной структуры материального производства.

Подобно тому как само производство на современном этапе развития представляет собой техническое приложение научных знаний в различных областях физики, химии, энергетики и т. п., управление производством должно основываться на глубокой научной разработке организационно-управленческих вопросов. Наука должна создавать не только новые материалы, технологию, автоматические системы орудий производства. Она призвана, кроме того, вскрывать закономерности рациональной организации и управления производством, вооружая инженерно-технические и руководящие кадры предприятий оптимальными методами управления, которые обеспечивают наиболее эффективное использование всех имеющихся ресурсов и планомерное совершенствование производства.

Организация управления как научная дисциплина находится на стыке ряда наук, как технических и естественных, так и общественных, представляя собой своего рода фокус, в котором возрастает эффект их совместного воздействия.

С первых лет советской власти Коммунистическая партия придавала исключительно важное значение систематической научной работе в области организации управления. В первые же месяцы после Великой Октябрьской социалистической революции В. И. Ленин в своей работе «Очередные задачи Советской власти» указывал, что советская организация управления является одним из важнейших факторов, необходимых для обеспечения победы социализма. В. И. Ленин подчеркивал, что руководящим работникам необходимо изучать науку управления, и предлагал ввести для них испытания на знание основ этой науки.

По указаниям Ленина в 20-х годах была осуществлена система мероприятий по организации научной разработки и совершенствованию практики управления. Опираясь на ленинские принципы управления и творчески развивая их применительно к изменяющимся историческим условиям, Советское государство под руководством Коммунистической партии на протяжении всей истории решало труднейшие проблемы организации управления непрерывно растущим народным хозяйством нашей страны.

На XXIV съезде Коммунистической партии Советского Союза была сформулирована главная задача девятой пятилетки. Она состоит в том, чтобы обеспечить значительный подъем материального и культурного уровня жизни народа на основе высоких темпов развития социалистического производства, повышения его эффективности, научно-технического прогресса и ускорения роста производительности труда.

Совершенствование системы управления экономикой — один из узловых вопросов экономической политики Коммунистической партии Советского Союза. «Речь идет, по существу, о том, как нам лучше организовать деятельность общества по ускорению экономического и социального развития, обеспечить наиболее полное использование имеющихся возможностей, еще теснее объединить сотни тысяч коллективов, десятки миллионов трудящихся вокруг главных целей партийной политики. Следовательно, вопросы управления затрагивают не только узкий круг руководителей и специалистов, но и все партийные, совет-

ские, хозяйственные организации, все коллективы трудящихся. Это означает, что улучшение управления — важная составная часть всей деятельности партии по руководству экономикой»[1].

Решения XXIV съезда КПСС не только создают условия для всемерной активизации работы в области научной организации управления, но и требуют ее широкого развития. Практическое осуществление этих задач связано с глубокой разработкой научных основ организации управления общественным производством.

Необходимо глубоко изучить и теоретически обобщить огромный опыт, накопленный в нашей стране в области хозяйственного строительства, форм и методов управления промышленным производством.

Наряду с углубленным исследованием и обобщением отечественного опыта весьма важное значение имеет критическое усвоение зарубежного опыта и научных работ по вопросам организации управления. В наиболее технически развитых капиталистических странах научно-исследовательские работы по проблемам организации управления и подготовка специалистов в этой области получили большой размах, особенно после второй мировой войны.

Одним из наиболее активных и влиятельных направлений научных исследований за рубежом, комплексно охватывающих разнообразные вопросы организации производства и управления, является исследование операций.

Сущность его заключается в использовании точных методов естествознания, логики, математики и статистики для решения организационно-экономических вопросов практического характера, слишком сложных для обычного эмпирического подхода. Характерные особенности исследования операций состоят в следующем:

а) широкое применение *моделирования изучаемых структур* (систем), процессов или явлений для выяснения не только статических связей, но и динамических закономерностей «поведения» систем на основе «экспериментального» изменения отдельных факторов;

б) *бригадная форма проведения исследования,* основанная на совместной работе специалистов разного профиля, включая инженеров, экономистов, математиков, научных работников в области физики, электроники, химии и т. п. (в зависимости от характера и целевого назначения выполняемой темы);

в) *разработка ряда вариантов искомого решения* поставленной задачи с анализом их сравнительных достоинств и рекомендацией *оптимального* или наиболее целесообразного варианта;

г) широкое *использование электронно-вычислительных машин* (цифровых и аналоговых) для обработки привлекаемой обильной информации, а также как технического средства для построения моделей и оценки результатов их действия.

В настоящее время исследование операций получило чрезвычайно широкое распространение при разработке самых разнообразных организационных и экономических вопросов.

В США, Англии, Франции и во многих других капиталистических странах существуют научные общества или ассоциации по исследованию операций, издаются специальные журналы. Организовано Международное объединение по исследованию операций, которое проводит периодические конференции. В этих конференциях участвуют сотни делегатов из многих стран. Труды конференции публикуются.

При таком обширном развертывании работ по исследованию операций наметились определенные *научные течения,* или, выражаясь условно, некоторые специализированные отрасли, на которые подразделяется это направление научной деятельности по организационно-экономическим проблемам.

Первое течение характеризуется преимущественной разработкой математических методов в исследовании операций. Оно имеет большое распространение и отличается формализацией изучаемой проблематики. Это направление представлено, в частности, книгой американского специалиста Т. Л. Саати «Математические методы исследования операций»[1].

Другим течением в области исследования операций является *разработка макроэкономических проблем* развития народного хозяйства и отдельных его отраслей. Здесь выделяются, например, работы французских специалистов по вопросам оптимальных форм развития электроэнергетики и каменноугольной промышленности (национализированные отрасли производства), а также многочисленные работы по организационно-экономическим проблемам хозяйства раз-

[1] Л. И. Брежнев. Отчетный доклад Центрального Комитета КПСС XXIV съезду Коммунистической партии Советского Союза, «Материалы XXIV съезда КПСС», М., Политиздат, 1971, стр. 80.

[1] Т. Л. Саати, Математические методы исследования операций, М., Воениздат, 1963.

вивающихся стран. Известное представление об этом течении может дать книга американских экономистов Х. Ченери и П. Кларка «Экономика межотраслевых связей» [1].

Третьим течением в исследовании операций можно считать разработку *организационно-экономических вопросов в рамках отдельного предприятия* (или фирмы), либо применительно к строго очерченному типу процессов. Это течение охватывает чрезвычайно разнообразный круг проблем, относящихся к промышленному и сельскохозяйственному производству, транспорту разных видов, связи, торговле, страхованию и кредиту, сфере обслуживания и коммунальному хозяйству и т. п. При исследовании и решении всех этих вопросов применяются некоторые *типовые модели*, представляющие собой обобщение и формализацию организационно-экономических задач. Наиболее характерными моделями этого вида являются следующие:

а) *модели массового обслуживания*, или так называемой теории очередей, с ее многочисленными вариантами, предусматривающими различный порядок поступления запросов (или объектов обслуживания) и разные схемы их выполнения. Имеются исследования ряда авторов на английском, французском, шведском языках, посвященные моделям массового обслуживания;

б) *модели оптимального управления запасами*, которые включают не только вопросы регулирования запасов в собственном смысле слова, но, кроме того, определение наивыгоднейших партий, заделов незавершенного производства, выравнивание сезонных колебаний спроса или поставок сырья и т. п. Специальная литература по этому кругу вопросов в настоящее время насчитывает несколько сотен книг и тысячи статей;

в) *модели рациональных сроков эксплуатации и замены оборудования* с учетом затрат на ремонт, амортизацию и моральный износ. Этот тип задач сравнительно слабо разработан и лишь в последнее время стал предметом солидных и достаточно широких исследований;

г) *модели так называемых «деловых игр»*, математическая теория которых получила основательную разработку благодаря исследованиям фон Неймана и других зарубежных специалистов, но практическое использование этих моделей при решении организационно-экономических проблем еще имеет весьма ограниченный характер.

Необходимо сделать оговорку, что многие конкретные задачи, требующие своего решения методами исследования операций, еще не удалось сформулировать в достаточно удовлетворительной научной постановке главным образом из-за отсутствия соответствующего математического аппарата, неопределенности критериев оптимизации или ограниченных возможностей, предоставляемых имеющейся электронно-вычислительной техникой.

Таковы прежде всего проблемы календарного планирования дискретных многооперационных процессов, целочисленного программирования и ряд других.

К исследованию операций по вопросам организации и управления производством примыкает *другое важнейшее направление*, которое самым тесным образом связано с наукой управления, как таковой, и выражается в разработке *теории управленческих решений*.

Суть данного направления заключается во всестороннем изучении процессов выработки и принятии наиболее ответственных решений, принадлежащих к компетенции высших руководящих органов или звеньев управления предприятия, объединения, крупной фирмы и т. д. Задача состоит в том, чтобы вооружить управление научной методологией для указанных целей и заменить простые соображения здравого смысла объективно обоснованными рациональными приемами хозяйственного руководства.

В разработке теории решений можно констатировать три основных течения, не противоречащих одно другому, а скорее взаимно дополняющих друг друга в этой новой области исследований. *Первое из них носит формально-логический характер*, то есть по преимуществу связано с классификацией решений, принимаемых руководящим органом с точки зрения степени уверенности и детерминированности оснований и последствий, которые сопряжены с данным решением. Имеются даже диссертационные работы на соискание степени доктора наук, написанные по данной тематике. К этому же течению очень тесно примыкает и психологическое освещение процессов выработки и принятия решений, как оно представлено Лоуренсом Д. Фогалем в «Анналах Нью-Йоркской Академии наук» [1].

[1] Х. Ченери и П. Кларк, Экономика межотраслевых связей, М., Издательство иностранной литературы, 1962.

[1] «Annals of the New York Academy of Sciences», 1961, № 5.

Другое течение в теории решений органически связано с применением *методов математической статистики* в различной их интерпретации для проверки и измерения возможных последствий того или иного альтернативного решения. Наиболее отчетливо это течение получило свое выражение, например, в книге Ж. Мота «Статистические предвидения и решения на предприятии» [1].

Особенно широкое и плодотворное применение для выработки экономически целесообразных решений приобретает в последнее время метод статистических испытаний, называемый методом Монте-Карло, так как он позволяет стимулировать процессы стохастического характера и оценивать по условным данным с достаточной мерой надежности эффективность того или иного принятого порядка регулирования этих процессов. Методы статистических испытаний освещены и в советской литературе, но их практическое применение более характерно для зарубежной теории решений.

Третье течение в теории решений занимает особенно важное место в научной литературе, это — *научное программирование деятельности предприятия* или хозяйственной организации. Оно включает обширную область линейного программирования, так называемую теорию игр, а также нелинейное и вообще нематематическое программирование. Характерной для данного течения является переведенная на русский язык книга Важоньи «Научное программирование в промышленности и торговле» [2].

В развитии теории решений и научного программирования возникает целый ряд конкретных систем оптимального управления сложными многоэтапными процессами на основе их предварительного аналитического исследования и моделирования. Таковы, в частности, так называемые сетевые методы моделирования и оперативного регулирования в виде метода критического пути (Critical Path Method), ПЕРТ (Program Evaluation and Review Technique) и др. Несколько лет назад в Технологическом институте Карнеги создана специальная методика перспективного планирования крупных проектов при ограниченных ресурсах — СПАР (SPAR — Scheduling Program for Allocating Resources).

Характерно, что в ряде случаев системы программирования разрабатываются непосредственно крупными промышленными корпорациями, как-то: концерном «Дюпон», где разработана методика распределения ресурсов и календарного планирования многообъектных проектных разработок; концерном ИБМ, установившим определенный порядок оценки проектных решений и оптимизации затрат на их выполнение; корпорацией «Локхид», выработавшей комплексную систему планирования и контроля организационно-экономических мероприятий.

Недавно в США появились две новые методики перспективного планирования: ПАРМ и ПАТТЕРН.

ПАРМ (PARM — Program Analysis for Research Management) — это аналитическая модель, использующая математические методы для моделирования экономики с помощью современных вычислительных средств и средств отображения.

ПАТТЕРН (PATTERN — Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Number) применяется для перспективного планирования научных исследований и разработок в общегосударственных масштабах.

Эти методы, основанные на графическом изображении и подробнейшем членении сложных операций (иногда до сотен и тысяч фаз) с тщательным расчетом вероятностных вариантов на быстродействующих вычислительных машинах, позволяют установить оптимальные сроки завершения всех работ, определяют так называемые «критические фазы», обусловливающие конечные сроки выполнения всего планового задания. Руководитель может установить, выполнимо ли задание или одна из его фаз в предполагаемое время, и, что особенно важно, в случае отрицательного ответа может концентрировать ресурсы на выявленных критических узлах, перераспределять кадры для форсирования выполнения всего задания в срок.

К исследованиям научной методологии и теории организационно-экономических решений довольно близко стоит *кибернетическое направление* в научной разработке проблем организации производства и управления за рубежом. Это направление еще не приобрело такого широкого размаха, но уже *представлено несколькими течениями*, имеющими своеобразное научное содержание и значение.

Одно из этих течений характеризуется использованием *теории автоматического регулирования* (теории следящих систем) при исследовании экономических и организационных комплексов.

[1] Ж. Мот, Статистические предвидения и решения на предприятии, М., Издательство «Прогресс», 1966.

[2] Важоньи, Научное программирование в промышленности и торговле, М., Издательство иностранной литературы, 1963.

Здесь существенное значение приобретают, как и в операционных исследованиях, логико-математическая формализация и моделирование, но центр тяжести лежит не в использовании моделей той или иной экономико-организационной проблемы, а в проектировании определенного механизма регулирования. Здесь можно назвать работу англичанина Э. Тастина «Механизм экономических систем» (1953 г.) или Филлипса «Кибернетика и регулирование экономических систем» (1959 г.), а также материалы О. Д. Смита и Х. Ф. Эрдли о применении электронной модели-аналога, опубликованные в США в журналах «Электротехника» и «Калифорнийский инженер» [1].

Другое течение, характерное для кибернетической трактовки организационно-экономических проблем, отличается тем, что оно основывается на далеко идущих *аналогиях между организацией и живым организмом*. Организация рассматривается в качестве самонастраивающейся системы динамического характера, находящейся под воздействием внешней среды и внутренних процессов. В работах представителей данного направления предприятие описывается и изучается в соответствующих терминах и биофизических моделях. Ярким примером такого подхода является книга Ст. Бира «Кибернетика и управление производством» [2]. Интересный материал содержится также в сборнике трудов научного симпозиума по самоорганизации, устроенного Иллинойским университетом. Этот сборник опубликован в США в 1962 г.

Третье течение отличается тем, что оно основное внимание уделяет разработке проблем теории информационных систем с обратной связью как важнейшего аспекта управления производством, определяющего содержание и механизм регулирующего воздействия на управляемый объект. Характерной особенностью данного направления является его тесная связь с процессами комплексной механизации и автоматизации получения и переработки информации при помощи быстродействующей электронно-вычислительной техники.

На Международном конгрессе по организации управления в сентябре 1963 г. этим вопросам была посвящена работа специальной секции, проходившая под общим заголовком «Революция в деловой информации — ее системе и методах». В этой секции были рассмотрены разнообразные доклады и сообщения, причем особое внимание было посвящено двум главным проблемам: всемерному улучшению информационного обслуживания руководящих звеньев управления и автоматизации переработки неуклонно возрастающих информационных потоков.

Характерная черта, присущая всем перечисленным направлениям в научной разработке проблем организации и управления промышленными предприятиями, заключается в том, что они ограничиваются исследованием отдельных частных вопросов (хотя бы и очень важных), либо отдельных процессов или сторон производственно-хозяйственной деятельности. Ни одно из существующих течений не ставит себе задачей комплексное исследование предприятия как целостной системы, осуществляющей многообразные взаимосвязанные функции, находящиеся в определенных взаимоотношениях с экономической средой, воздействующей на эту среду и подвергающейся последовательным изменениям под влиянием внешних и внутренних факторов.

Предлагаемая читателям книга Дж. Форрестера «Основы кибернетики предприятия», вышедшая в США в 1961 г., существенно отличается именно тем, что в ней впервые делается попытка синтезировать современные научные течения и дать комплексное освещение производственно-хозяйственной деятельности предприятия и управления ею, используя для этого познавательные возможности, которые предоставляют современные приемы формализации и моделирования изучаемых процессов в аспекте информационных систем с обратной связью.

В Массачусетском технологическом институте проблемы так называемой индустриальной динамики разрабатываются с 1956 г. С 1957 г. существует специальная группа, которая проводит исследования по этой проблеме под руководством проф. Дж. Форрестера [1].

Публикуемая в русском переводе книга является результатом его многолетних систематических исследований.

Форрестер считает недостаточными соответствующие формальные аналогии и кибернетические концепции для построения адекватной ди-

---

[1] См. сборник «Процессы регулирования в моделях экономических систем», М., 1961.

[2] С т. Б и р, Кибернетика и управление производством, М., 1961.

[1] Профессор Массачусетского технологического института Джей Форрестер родился в 1918 г. По образованию инженер-электрик. Работал в области гидравлических и электрических сервомеханизмов. Крупный специалист в области электронно-вычислительных машин.

намической модели столь сложной комплексной системы, как промышленное предприятие. Он противопоставляет предлагаемый им новый метод моделирования предприятия как динамической экономической системы обычным кибернетическим взглядам. Он рассматривает меняющееся во времени поведение промышленных предприятий с целью выработки усовершенствованных форм их организации и общего руководства их деятельностью. В этом динамическом моделировании интегрируются в единой структурной схеме функциональные отрасли управления как своеобразной системы с обратной связью.

В своей модели Форрестер использует шесть параметров — шесть взаимосвязанных потоков, которые отражают деятельность промышленного предприятия. Пять из них — это потоки материалов, заказов, денежных средств, оборудования и рабочей силы. Шестой — информационный поток — является соединительной тканью, связующей пять других.

Поведение информационной системы с обратной связью определяется ее структурой, а также запаздываниями и усилениями, которые испытывают соответствующие потоки в отношении темпов ввода и на выходе. Динамическая структура модели представлена рядом резервуаров или уровней, связанных между собой управляемыми потоками. «Базовая структура, состоящая из переменных уровней и темпов потоков, отражает существо систем управления промышленным предприятием»,— пишет Форрестер (стр. 57).

Под промышленным предприятием он подразумевает законченную организационно-хозяйственную единицу, типичную для крупных капиталистических фирм, которая включает, кроме производственного предприятия, также оптовые и розничные торговые организации.

Структурная схема потоков, моделирующих деятельность предприятия, дополняется системой уравнений, которые позволяют измерить и представить в количественном выражении динамические изменения, происходящие в процессе протекания этих потоков при различных темпах на вводе, разных параметрах запаздываний и усилений. Такая математическая модель предприятия позволяет изучить, каким образом данная система будет реагировать на ввод тех или иных данных (возмущающих воздействий). Как правило, замечает Форрестер, наиболее важные модели, отвечающие запросам общего хозяйственного руководства, включают от 30 до 3 тыс. переменных.

Следует отметить своеобразие количественного подхода Дж. Форрестера к моделированию производственно-хозяйственной системы. Он не склонен увлекаться математическим истолкованием и формализацией изучаемых процессов. Его формулы имеют преимущественно структурный характер и элементарны в математическом отношении. Методика построения и анализа производственно-хозяйственной модели, по Форрестеру, включает следующие 6 этапов.

Во-первых, определяется конкретный производственно-хозяйственный вопрос, который подлежит анализу методом динамического моделирования.

Вслед за тем формулируются (в словесном выражении) основные связи или причинно-следственные зависимости, характеризующие структуру изучаемой системы.

Третий этап состоит в построении математической модели, причем каждая часть этой модели создается на основе графической схемы, выражающей содержание предыдущего этапа.

Четвертый этап — проектирование поведения моделируемой системы или ее изменений во времени.

Пятый этап заключается в имитации динамики системы на цифровых вычислительных машинах. Результаты сравниваются с имеющимися данными об аналогичных реальных процессах.

Шестой, заключительный этап — включение в модель пересмотренных параметров или мероприятий с последующим моделированием на ЭВМ для определения их воздействия на конечные результаты.

Журнал «Калифорниа менеджмент ревью» следующим образом охарактеризовал методику динамического моделирования, предложенную Дж. Форрестером: «При данном методе вся деятельность предприятия имитируется на большой цифровой вычислительной машине. Математическая модель состоит из сотен каскадированных — последовательно решаемых уравнений. Предприятие, наподобие радиосхемы, содержит витки обратной связи, усиливающие входящие сигналы и регулирующие периодичность выходящих сигналов. При наличии некоторых довольно обычных условий случайное изменение количества заказов на плюс или минус 5% может вызвать периодические колебания уровня запасов на 15%, а объема выработки продукции и численности рабочей силы — более чем на 25%» [1].

[1] «California Management Review», 1965, № 3, p. 94.

Стихийные колебания, испытываемые капиталистической фирмой, совершенно нехарактерны для социалистической промышленности, вся деятельность которой определяется и направляется государственным народнохозяйственным планом. Конечно, и в этих условиях следует полностью учитывать спрос потребителей на выпускаемую продукцию, и данные изучения спроса должны учитываться в более или менее долговременных планах производственно-сбытовой деятельности.

Таким образом, ценность книги Форрестера для советского читателя — экономиста, организатора, хозяйственника, инженера–не в конкретных результатах проделанного им анализа деятельности капиталистического предприятия, а в тех методических приемах динамического моделирования, которыми он пользуется и которые могут применяться также при изучении проблем управления социалистическими предприятиями.

Как отмечает автор, динамическое моделирование было бы совершенно нереально десять лет назад, так как «четыре краеугольных камня» его методологии были созданы лишь после 1940 г. Таковы:

1) теория информационных систем с обратной связью;

2) исследование процессов принятия решений;

3) экспериментальное моделирование сложных систем;

4) электронно-вычислительные машины как средство имитации реальных процессов на их математических моделях.

Заметим тут же, что автор допускает в этом пункте существенную неточность, утверждая, что перечисленные предпосылки были созданы исключительно в США и что они явились всего лишь побочными результатами научных исследований в области военных систем. Во-первых, в их развитие внесли крупный вклад и другие страны, в частности Советский Союз, а во-вторых, развитие соответствующих методов было вызвано не только милитаристскими устремлениями капиталистических стран, но и требованиями научно-технической революции.

Обращает на себя внимание раздел книги, где говорится об управлении научными исследованиями и разработками (в главе 16). Проблема рациональной организации управления научно-исследовательскими работами в условиях США стоит особенно остро. В среднем в США 67% всех научно-исследовательских работ в промышленности оказываются безрезультатными [1].

Американский журнал «Менеджмент ревью» пришел к следующему выводу об управлении научно-исследовательскими работами в промышленности США: «В 1963 г. в Соединенных Штатах было затрачено на научные исследования и разработки более 18 млрд. долл. Лишь небольшая доля этих усилий финансировалась промышленностью, причем значительная часть промышленных исследований и разработок была плохо продумана и непродуктивна». Характерно, что сама заметка озаглавлена «Неправильное использование научных исследований и разработок» [2]. Строгое моделирование процессов работы научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций могло бы оказать серьезное содействие улучшению управления ими. Ученик и последователь Дж. Форрестера профессор Робертс применяет соответствующие методы при изучении проблем управления научными исследованиями. В своей книге «Динамическое моделирование научных исследований и разработок» (1964 г.) он пытается сочетать социальные, психологические, технические и финансовые факторы, построив комплексную теорию организации научных исследований и разработок. В 1963 г. Робертс основал (вместе с другим членом группы Форрестера) специальную консультативную фирму по динамическому моделированию в помощь промышленным концернам.

Форрестер считает, что его метод можно использовать также для оказания стабилизирующего влияния на отрасль в целом, а не только на одно предприятие. Один из его учеников (Харфорд) построил динамическую модель, в которой установлена взаимосвязь 140 переменных, имеющих определенное значение при переходе электроэнергетической промышленности от тепловых электростанций к атомным. Факторы, которые изучил Харфорд, дают представление об условиях, необходимых для подъема этой отрасли.

Вместе с тем Форрестер предупреждает, что данный метод еще далеко не совершенен и не является панацеей, что моделирование не должно применяться как метод предсказывания «*определенных событий в определенный момент времени*» или как гарантия правильности какого-то определенного решения. Вместо этого оно

---

[1] См. E. B. Roberts, The Dynamics of Research and Development, New York, 1964, p. XV.

[2] См. «Management Review», Vol. 54, № 3, 1965.

должно служить целям лучшего понимания процесса управления и способствовать принятию успешных решений, не гарантируя, однако, их безусловную правильность (стр. 46).

Методы, разработанные Форрестером, применяются не только в области промышленного производства. Сам он в настоящее время вместе со своей школой разрабатывает принципы динамики социальных систем. А Фосетт из фирмы «Дженерал дайнемикс» изучает применение этих методов к управлению научно-исследовательскими работами в военной промышленности.

Динамическое моделирование вызвало большой интерес за пределами США. Его изучают и преподают во Франции, Италии, Японии, Канаде, Австралии, Голландии, Швеции, Дании.

Знакомясь с книгой Форрестера, не следует забывать о том, что он остается буржуазным автором, апологетизирующим американский капитализм. Он мечтает о «регулируемом капитализме», рассчитывая в целях его стабилизации внедрить свою систему не только на отдельных предприятиях и фирмах, но и в масштабе отраслей и даже всей национальной экономики. Буржуазный подход к анализу определил и своего рода механистичность его позиции, совершенно недостаточное внимание к социальным аспектам управления.

Форрестер совершенно необоснованно ставит знак равенства между микроэкономикой и макроэкономикой, хотя макроэкономика не представляет собой простую сумму микрокомпонентов. Между тем он пишет: «При исследовании построения динамических моделей в данной работе не делается никакого различия между фирмами, предприятиями и экономикой в целом, ибо различия в подходе или произвольные разграничения между микроэкономикой и макроэкономикой, на наш взгляд, неправильны. Такими принципами мы руководствуемся во всех случаях» (стр. 45).

Поскольку книга Форрестера отражает условия капиталистической экономики США, некоторые ее части, не представляющие особого интереса для советских читателей, в русском издании опущены. Это относится, в частности, к детальному анализу торговой рекламы и ее влияния на производственную и коммерческую деятельность фирмы. Кроме того, в оригинале имеются повторения, которые также исключены в русском переводе.

Наконец, в русском издании воспроизведены не все приложения, имеющиеся в оригинале, так как значительная их часть посвящена вопросам применения электронно-вычислительных машин, особенно специально сконструированной под руководством автора машины «Динамо», предназначенной для выполнения предложенной им системы расчетов. Естественно, что читатель, не располагающий этой вычислительной техникой, не может воспользоваться советами и указаниями по ее применению.

Д. Гвишиани

Глава 1

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

Динамическое моделирование предприятия представляет собой исследование предприятия как информационной системы с обратной связью; оно предусматривает применение моделей для проектирования усовершенствованных форм организации и улучшения общего руководства. Динамическое моделирование предприятия возникло на основе развития следующих четырех прогрессивных направлений: теории управления информационной системой с обратной связью, автоматизации выработки военно-тактических решений, экспериментального проектирования сложных систем с помощью моделирования и применения цифровых вычислительных машин для снижения стоимости вычислений. Своим появлением данная книга обязана этим направлениям, вместе взятым.

В данной книге рассматривается меняющееся во времени динамическое поведение промышленных организаций, то есть динамическое моделирование предприятий. Динамическое моделирование предприятия представляет собой изучение деятельности предприятия как информационной системы с обратной связью. Оно показывает, каким образом взаимодействуют организационная структура предприятия, влияние авторитета (в руководстве) и время запаздывания (в решениях и действиях) в обеспечении успеха предприятия. Обсуждается также взаимодействие потоков информации, денежных средств, заказов, товаров, рабочей силы и оборудования на предприятии, в отрасли промышленности или в народном хозяйстве.

С помощью динамического моделирования предприятия создается единая структурная схема, в которой интегрируются функциональные отрасли управления, а именно — производство, сбыт, бухгалтерский учет, исследования и технические усовершенствования, капиталовложения. Оно воплощает количественный и экспериментальный подход к решению задачи приведения организационной структуры и методов руководства предприятием в соответствии с требованиями промышленного развития и устойчивости. Динамическое моделирование, кроме того, должно стать основой для проектирования более эффективных промышленных и экономических систем. Динамически-моделирующий подход к проектированию предприятия включает несколько этапов:

— Определение проблемы.

— Обособление факторов, которые, по-видимому, взаимодействуют при возникновении наблюдаемых симптомов.

— Выявление причинно-следственной цепи в потоке информации с обратной связью, который соединяет решения и действия с результирующими изменениями в информации и с дальнейшими новыми решениями.

— Формулировка приемлемых общих правил, объясняющих, каким образом на основе имеющихся потоков информации возникают те или иные решения.

— Построение математической модели, включающей правила принятия решений, источники информации и взаимодействие компонентов системы.

— Приведение в действие системы, описываемой моделью (обычно с помощью цифровой вычислительной машины для выполнения трудоемких расчетов).

— Сравнение полученных результатов со всеми имеющимися сведениями о реальной системе.

— Корректировка модели с тем, чтобы сделать ее достаточно адекватной реальной системе.

— Перестройка в рамках модели организационных взаимоотношений и правил принятия решений, которые можно было бы изменить в реальной системе, чтобы проверить, насколько подобные изменения могут улучшить поведение системы.

ГОС.

— Совершенствование реальной системы в направлениях, которые по результатам экспериментирования на модели обеспечат улучшение функционирования системы.

Описанный порядок действий основан на следующих положениях:

— Решения по вопросам управления и экономики входят в рамки системы, называемой обычно информационной системой с обратной связью.

— Наши интуитивные суждения о предстоящих со временем изменениях системы ненадежны, даже если они основаны на достаточно полном знакомстве с отдельными частями системы.

— Эксперименты, проведенные на модели, дают возможность восполнить пробел в той области, где наши суждения и знания всего слабее, а именно — в определении способов возможного взаимодействия известных частей системы, которые могут вызвать неожиданные и нежелательные общие нарушения конечных результатов ее деятельности.

— Для экспериментального моделирующего подхода имеется, как правило, достаточная информация, и нет надобности в крупных затратах или задержках для дальнейшего накопления сведений.

— «Механистическое» представление о принятии решений, получаемое при экспериментировании на моделях, все же достаточно правильно отражает основную структуру регулирующих правил и потоков решений в моделируемой организации.

— Внутренняя структура управления предприятиями является источником многих нарушений (неполадок), которые часто приписываются внешним, независимым причинам.

— Изменения в правилах руководства и организационной структуре, как правило, приводят к существенному улучшению промышленной и экономической деятельности. Нередко работа системы настолько ниже возможностей, что изменение первоначальной структуры ведет к улучшению всех существенных элементов системы без обычного компромисса, когда выигрыш на одном участке сопровождается потерями на другом.

Почему эти положения являются в настоящее время надежной основой для лучшего понимания поведения промышленных систем?

Дело в том, что обсуждаемый здесь подход был бы совершенно нереальным десять лет назад, хотя потребность в более глубоком изучении проблем управления и экономики существует уже давно. Лишь в последнее время заложен фундамент для адекватного подхода к решению этих проблем.

Четыре краеугольных камня, на которых основывается методология динамического моделирования социальных систем, были созданы в США после 1940 г. и явились результатом научных исследований в области военных систем. Это:

— теория управления информационной системой с обратной связью;

— исследование процессов принятия решений;

— экспериментальное моделирование сложных систем;

— цифровая вычислительная машина как средство имитации реальных процессов на их математических моделях.

Ниже будет рассмотрен каждый из названных факторов в отдельности.

1. 1. Теория управления информационной системой с обратной связью

Первым и наиболее важным основанием динамического моделирования предприятия является понятие сервомеханизма как прообраза информационной системы с обратной связью, разработанное во время второй мировой войны и в послевоенный период. До недавнего времени мы не имели достаточного представления о влиянии запаздывания во времени, усиления и структуры на динамическое поведение системы. И лишь теперь мы начинаем понимать, что взаимодействие между компонентами системы может иметь более важное значение, чем сами компоненты.

Понятия информационных систем с обратной связью становятся главной основой для создания базовой структуры, интегрирующей различные стороны процесса управления. Что такое информационная система с обратной связью? В общих чертах ее можно определить так:

Информационная система с обратной связью существует там, где окружающая среда приводит к принятию решения, вызывающего действие, которое само влияет на окружающую среду и, значит, на дальнейшие решения.

Это определение относится к любому сознательному и подсознательному решению, принимаемому человеком. Оно также включает и те механические решения, которые даются

вспомогательным устройством, называемым сервомеханизмом.

Управление информационными системами с обратной связью лежит в основе всей жизни и всех человеческих усилий, от медленных шагов биологической эволюции до запуска космических спутников.

Приведем несколько примеров.

— Термостат получает информацию о температуре и принимает решение о включении печи; температура повышается, и печь выключается.

— Человек почувствовал, что может упасть, он регулирует равновесие и вследствие этого может стоять прямо.

— В хозяйственной практике число заказов и объем складских запасов определяет принятие таких решений относительно производства, которые позволяют выполнить заказы, пополнить товарные запасы и вслед за тем принять новые решения о производстве.

— Рентабельная отрасль привлекает конкурентов до тех пор, пока повышенная прибыль не снизится до среднего уровня, что поведет к прекращению прилива капиталов в данную отрасль.

— Стремление конкурирующих фирм выпускать новые изделия стимулирует затраты на исследования и технические усовершенствования, что приводит к соответствующим изменениям в технике производства.

Все эти примеры относятся к управлению информационными системами с обратной связью. Возобновляющийся процесс обратной связи является непрерывным; новые результаты ведут к новым решениям, которые обуславливают постоянное движение данной системы. Подобные системы не обязательно действуют успешно. В самом деле, комплексная информационная система с обратной связью, спроектированная случайно или интуитивно, обычно оказывается неустойчивой или неэффективной.

Исследование информационных систем с обратной связью выявляет способ использования информации для управления. Это исследование помогает понять, каким образом общий объем корректирующих действий и запаздывания во времени во взаимосвязанных звеньях могут привести к неустойчивым колебаниям. Хорошим примером служит вождение автомашины.

Цепь информации и управления идет от руля к машине, к улице, глазам, рукам водителя и обратно — к рулю. Мы принимаем эту комплексную систему без размышлений. Рассмотрим, однако, эффект небольших изменений в структуре системы и запаздываний во времени. Предположим, что у водителя глаза завязаны, и он управляет машиной по командам сидящего рядом инструктора. Результирующее запаздывание информации на несколько секунд и некоторое дополнительное ее искажение из-за включения голоса и слуха между зрительным восприятием наблюдателя и сознанием водителя должны привести к беспорядочному управлению автомашиной.

Еще беспорядочней оно будет, если водитель с завязанными глазами получает команды от инструктора, который ведет наблюдение через заднее стекло машины, и располагает информацией лишь об уже пройденном пути. Между тем именно этим характеризуется хозяйственное руководство. Высшая администрация фирмы не видит своих торговых агентов, посещающих покупателей, она не видит своих возможных клиентов, которые смотрят коммерческую рекламу по телевидению. Она не участвует в заседаниях правлений конкурирующих фирм. У нее нет ясного представления о предстоящем пути. Единственное, о чем она может судить, хотя и с неполной достоверностью,— это об уже совершившихся фактах прошлой деятельности фирмы.

В любой информационной системе с обратной связью всегда используется доступная информация о прошлом, как основание для решений о будущих действиях.

Все, что мы делаем как индивидуумы, как предприятие или как общество, осуществляется в том же контексте информационной системы с обратной связью. Определение такой системы является настолько всеобъемлющим, что на первый взгляд кажется лишенным смысла. Только в настоящее время мы в состоянии оценить громадное значение параметров информационной системы с обратной связью для определения поведения соответствующих систем.

Информационные системы с обратной связью — механические, биологические или социальные — в своем поведении имеют три характеристики: структуру, запаздывания и усиления. Структура системы говорит нам о взаимосвязи отдельных частей. Запаздывания всегда существуют при получении информации, при принятии решений, основанных на этой информации, и в процессе выполнения этих решений. Усиления обычно происходят во всей системе, особенно при действующем порядке принятия решений в наших промышленных и социальных системах. Они проявляются в тех случаях, когда действие оказывается более сильным, чем это можно предполагать, исходя из ввода

информации, определяющей регулирующие решения. Мы только теперь начинаем понимать, каким образом взаимодействие структуры, запаздываний и усилений сказывается на поведении социальных систем.

Почему же фундаментальное значение и важность информационных систем с обратной связью не привлекали внимания вплоть до последних трех десятилетий? Мне кажется, это произошло в результате своеобразного разделения таких систем, которое было принято до 1940 г. С одной стороны, мы имели дело с биологическими информационными системами с обратной связью, регулирующими температуру человеческого тела, координацию мышц и т. д. Эти системы настолько идеально соответствуют своему назначению, и в то же время мы так привыкли к их недостаткам, что их свойства как информационных систем с обратной связью оставались незамеченными. С другой стороны, социальные, экономические и промышленные системы развивались в течение последних веков в столь крупных масштабах по сравнению с человеческим индивидуумом, что трудно было распознать общность их свойств как информационных систем с обратной связью. Кроме того, появилось множество других объяснений.. их поведения, которое в действительности обусловлено особенностями этих систем. Эти объяснения давались применительно к специфическим внешним проявлениям отдельных случаев, а не в свете фундаментальных представлений об обобщенных системах с замкнутым циклом.

Теория и основные понятия систем информации с обратной связью стали разрабатываться сравнительно недавно в результате попыток создания элементарной самонастраивающейся системы управления. По мере того как следящие системы становились все более совершенными в сравнении с регулятором паровой машины Уатта, требовалась все большая точность. Управляемые системы становились сложнее. Динамические характеристики и трудности систем сделались очевидными и доступными для изучения в достаточно малых масштабах. Требования коммерческого и военного характера стимулировали попытки овладения теорией проектирования информационных систем с обратной связью. Простые задачи поддавались решению доступными математическими методами. В процессе двадцатилетней разработки динамики физических систем были приведены во взаимное соответствие проблемы, потребности и средства.

Но наши социальные системы гораздо сложнее информационных систем с обратной связью, которыми уже овладела современная техника. Готовы ли мы справиться с ними?

Наши познания в области информационных систем с обратной связью развивались по экспоненциальному закону, столь характерному для ранних стадий в любой области человеческих знаний. Умение обращаться с информационными системами с обратной связью, по-видимому, возрастало в десятикратном размере за каждое десятилетие.

В конце 30-х годов научная литература в данной области оперировала динамическими характеристиками простейших следящих систем, описываемых линейными дифференциальными уравнениями с двумя переменными. А в начале 40-х годов соответствующие исследования уже велись с применением преобразований Лапласа, теории вероятностей и векторного исчисления.

Но, как обычно, математический авангард еще не был в состоянии справиться с наиболее важными техническими проблемами. Большое воздействие было оказано военной необходимостью. Инженеры не могли оставаться безучастными в ожидании аналитических решений поведения информационных систем с обратной связью. Были построены линейные и нелинейные математические модели для выработки решений с помощью аналоговых вычислительных машин.

К 1945 г. решение систем с 20 переменными уже не представляло трудностей, возможности увеличились по сравнению с 1935 г. в 10 раз.

К концу второго десятилетия, то есть в 1955 г., были освоены новые методы и новые области. Появилась вычислительная машина, открывшая путь для имитации систем, далеко за пределами возможностей аналоговых машин. С созданием нового оснащения внимание было сконцентрировано на динамических характеристиках боевых военных информационных систем с обратной связью, включающих как вооружение, так и личный состав. Стало возможным решение систем с 200 переменными.

Дальнейшее продвижение идет в том же темпе. Мы вступаем теперь в новый период 1965 г. с десятикратным ростом наших возможностей. Модели с 2000 переменных и без всяких ограничений в отношении нелинейных явлений делают доступной обширную область важных проблем управления и экономики.

1. 2. Процессы принятия решений

Вторым основанием динамического моделирования промышленных систем является разработка теории решений, выполненная в 50-е годы в порядке автоматизации военных тактических операций.

В историческом плане военная необходимость часто порождала не только новые технические средства, подобно авиации или цифровым вычислительным машинам, но также и новые организационные формы и новый подход к общественным процессам. Подобные усовершенствования впоследствии были приспособлены для мирного применения.

Такого рода нововведения появились и в области военного командования (то есть управления). По мере ускорения развертывания военных действий по необходимости произошло переключение внимания с тактических решений (повседневного руководства ходом военных операций) на стратегическое планирование (предусматривающее возможные события, определяющее образ действий и заранее устанавливающее порядок принятия тактических решений). Командующий сражением уже не в состоянии графически определить продвижение врага и лично рассчитать пункт нанесения удара. Ведь при наличии такого оружия, как баллистическая ракета, у него даже не хватит времени на то, чтобы выбрать оборонительное оружие.

В течение второй мировой войны решения по упреждающему регулированию артиллерийского огня осуществлялись автоматически соответствующими механизмами. Однако до 1950 г. автоматизированная оценка боевой силы, автоматизация выбора оружия, различение вражеских и дружеских подразделений, подача сигнала боевой тревоги или установление объектов обстрела почти не применялись. За какие-нибудь 10 лет автоматизация этих решений была инициативно разработана, принята и внедрена в практику. Для осуществления этой задачи надо было преобразовать «тактические суждения и опыт» военных решений в комплекс формальных правил и процедур. Эта перестройка была вынужденной, потому что темп современных военных действий превышает возможности реакций человеческого организма. Целое десятилетие тысячи людей были заняты данным преобразованием процессов принятия военных решений и автоматизации оперативных действий, которые лежат в основе тактических военных решений. При этом было убедительно показано, что тщательно отобранные формальные правила могут обеспечить краткосрочные тактические решения, которые более совершенны, чем основанные на суждениях людей и принятые в условиях спешки, либо на основе недостаточного практического опыта военачальников, либо, наконец, под влиянием крупных организаций, не отличающихся оперативностью.

Те же люди, которые встретили начало работы над формализацией правил военно-тактических решений в 1950 г. заявлением, что «машина не в состоянии заменить мое военное образование и боевой опыт», через 10 лет приняли как наилучший и совершенно обыденный вариант автоматическую отдачу военно-боевых распоряжений. Полученный таким путем практический опыт установления основ для принятия решений и определения содержания так называемого «компетентного суждения», необходимого для правильности этих решений, в настоящее время может быть использован для исследования систем управления. Многие специалисты из военных исследовательских организаций переходят теперь к изучению производственных и экономических систем.

Как и в области военного дела, мы убедимся в существовании строго определенного базиса, на котором основывается практика решений, принимаемых в настоящее время хозяйственными руководителями. Их решения не являются выражением полной «свободы воли», а строго обусловлены окружающими обстоятельствами. И поскольку это так, имеется возможность установить правила, регулирующие эти решения, и определить влияние данных правил на производственное и экономическое поведение систем.

1. 3. Экспериментальный подход к анализу систем

Третьей основой динамического моделирования промышленных систем является экспериментальный подход к изучению их поведения.

Мощность математического анализа недостаточна для нахождения общих аналитических решений столь сложных ситуаций, которые встречаются в хозяйственной области. Выход можно найти в экспериментальном исследовании.

Для этого строится математическая модель промышленной системы. Такая модель дает подробное описание, показывающее, каким об-

разом условия в определенный момент времени приводят к последующим условиям в другой, более поздний момент. Поведение модели подвергается наблюдению, причем проводятся эксперименты для выяснения специальных вопросов о действии системы, представленной в виде модели.

«Имитация» — этим термином нередко обозначается процесс экспериментирования на модели вместо проведения соответствующих опытов с реальной системой. В течение 50-х годов имитация получила широкое развитие при проектировании средств противовоздушной обороны и в технических проектных работах. Вот один из примеров.

При планировании развития бассейна реки числа в цифровой вычислительной машине обозначают объемы воды, скорость течения, расход воды для выработки электроэнергии, осадки. В течение нескольких секунд работы машина может представить данные о действии реальной системы в течение целых суток. Могут быть намечены и спроектированы плотины, позволяющие обеспечить противоречивые требования производства электроэнергии, ирригации, навигации и регулирования стока вод.

Подобно этому, в течение последних лет в литературе по операционным исследованиям обычно освещаются многочисленные простые имитационные исследования отдельных частей предприятия. Методика имитации достигла теперь такой степени развития, что она может применяться к проблемам общего руководства промышленными организациями. В хозяйственной области имитация означает ввод в цифровую электронно-вычислительную машину определенных данных, описывающих деятельность предприятия. На основе этих данных и допущений о деятельности предприятия, вычислительная машина выдает результативные календарные графики, относящиеся к движению продукции, рабочей силе, финансам и т. п. Таким образом можно проверить разные варианты правил руководства или предположения об объеме сбыта, чтобы определить их влияние на успех хозяйственной деятельности фирмы.

Вместо того чтобы отправляться от общего аналитического решения и переходить к соответствующему специфическому случаю, мы теперь признаем высокую полезность, хотя бы и лишенную математического изящества, эмпирического подхода к поставленным задачам. Таким способом мы исследуем целый ряд специфических ситуаций, а на этой основе производим возможные обобщения.

Применение методов имитации не требует высокой математической квалификации. Разумеется, детали построения модели должны быть определены специалистами, поскольку для этого необходима особая квалификация, и надо избегать всяких погрешностей. Между тем работа по отбору исследуемых ситуаций, по оценке намеченных предположений и истолкованию полученных результатов вполне доступна для лиц, получивших подготовку в школах управления или на курсах совершенствования руководящего персонала.

1. 4. Цифровые электронно-вычислительные машины

Четвертой основой при динамическом моделировании промышленного процесса является цифровая электронно-вычислительная машина, которая стала широко доступной между 1955 и 1960 гг. При ее отсутствии выполнение обширной работы по выявлению специфических данных, характеризующих комплексную систему, потребовало бы слишком крупных затрат. За последние 15 лет стоимость арифметических подсчетов снизилась в 10 000 раз и даже больше в тех областях, где цифровые электронно-вычислительные машины могут быть использованы с наивысшей эффективностью действия. Имитация поведения индустриальных систем с обратной связью принадлежит к числу областей высокой эффективности. Снижение затрат в 10 000 или даже в 100 000 раз создает совершенно иную обстановку для исследований в сравнении с той, которая существовала хотя бы 10 лет назад.

Появление вычислительных машин после второй мировой войны сделало возможным исследование весьма сложных систем. Машины-аналоги, применявшиеся для анализа электроэнергетических сетей и в анализаторах дифференциальных уравнений, получили развитие в период с 1930 по 1950 г. Сначала делались попытки использовать аналоговые вычислительные устройства для изучения экономических систем. Однако они оказались непригодными для решения вопросов практической значимости. Они неудобны при работе над нелинейными системами.

Появление быстродействующих цифровых электронно-вычислительных машин практически устранило вычислительный барьер. Технические характеристики электронно-вычислительных машин увеличивались ежегодно почти в 10 раз в течение десятилетия 50-х годов; почти с каждым

годом происходил десятикратный рост быстродействия, емкости памяти, надежности машин. В общем, это было технологическое изменение, превосходящее по своему значению переход от химических взрывчатых веществ к атомным. Общество не может освоить такое крупное изменение в какие-нибудь 10 лет. Мы имеем громадный неиспользованный задел новых средств и возможностей их применения. Мы имеем основания предполагать, что дальнейшее развитие машин будет по-прежнему опережать развитие наших представлений о динамических связях в производстве и экономике. Вычислительные машины теперь настолько доступны, а затраты на вычисления и их программирование столь малы в сравнении с другими издержками, что прежние трудности в использовании имитирующей модели уже не должны лимитировать темпы нашего прогресса в познании динамических систем.

Глава 2

ПРИМЕР ПРОИЗВОДСТВЕННО-СБЫТОВОЙ СИСТЕМЫ

Используя простейшую модель системы сбыта в данной главе, мы ставим задачу показать, каким образом организационные формы и правила принятия решений могут стать источником типичных нежелательных явлений в поведении промышленного предприятия в целом. В частности, в данной главе будут освещены следующие вопросы:

Каким образом небольшие изменения объема розничных продаж могут вызвать значительные колебания производства продукции предприятия?

Почему ускорение выполнения конторских работ может не оказать существенного влияния на улучшение управленческих решений?

Почему руководство предприятием может оказаться не в состоянии выполнить заказы, хотя его производственные возможности неизменно превышают объем продаж?

Общее описание динамической модели предприятия, представленное в главе 1, станет более содержательным, если оно будет дано на простом примере. Каким образом можно применить концепцию информационной системы с обратной связью к конкретным хозяйственным условиям? Иначе говоря, как влияют запаздывания и усиления в круговом потоке информации на деятельность предприятия? Как можно использовать модель такой системы, чтобы выяснить влияние отдельных компонентов на ее общее поведение?

2. 1. Подход к задаче

Первым шагом в изучении системы является четкое определение исследуемой проблемы и тех вопросов, на которые надо получить ответ. Этот исходный пример обязательно должен быть прост. Для наибольшей ясности разумно начать с очень ограниченной подсистемы предприятия или фирмы в целом. Чтобы сохранить эту первоначальную простоту, нужно ставить только такие вопросы, которые связаны с проблемами, касающимися деятельности ограниченного участка промышленного предприятия. Позднее мы можем шире заняться всей областью управления.

Решающим звеном в деятельности большинства промышленных фирм является процесс производства и сбыта продукции. Важнейшая проблема этого звена — приведение темпа производства и темпов продаж продукции в соответствие с требованиями конечного потребителя. Как показывает практика, темпы производства часто колеблются в бóльших пределах, чем фактические темпы потребительских покупок. Неоднократно отмечалось, что сбытовая система с цепью взаимосвязанных товарных запасов и определенным порядком выдачи заказов на их пополнение имеет тенденцию усиливать небольшие колебания, возникающие в розничном звене. Для нашего примера характерны структура и образ действий многоступенчатой сбытовой системы. Каким образом данная система вызывает усиление небольших изменений в розничных продажах? Какие изменения в методах управления могут воздействовать на внутренние колебания системы? Как будет реагировать такая система на различные предполагаемые изменения розничных продаж?

Все эти вопросы могут быть изучены путем использования потоков информации, заказов и материалов.

Из шести потоков, характеризующих деятельность предприятия, мы не будем рассматривать в этой главе потоки оборудования, денежных средств и рабочей силы.

Даже такая ограниченная система все же будет интересной и содержательной. Она охватит многие из элементов, вызывающих расстройства в поведении реальных систем.

Если мы рассмотрим основы внутреннего поведения сбытовой системы даже в условиях

независимо определяемых заказов клиентов и при отсутствии взаимодействия между фирмой и рынком, то убедимся, что обычный порядок производственной и сбытовой деятельности может вызвать типичные хозяйственные неполадки, которые часто относят за счет внешних причин. Случайные, незначительные колебания продаж могут превратиться в годовые или сезонные производственные циклы. Рекламная политика предприятия и практика снижения цен могут вызвать двух- и трехлетние циклические колебания сбыта. Несмотря на постоянное превышение производственной мощностью предприятия объема его розничного оборота, может возникнуть представление о недостаточном уровне располагаемых мощностей для удовлетворения покупательского спроса, и в результате они будут расширены.

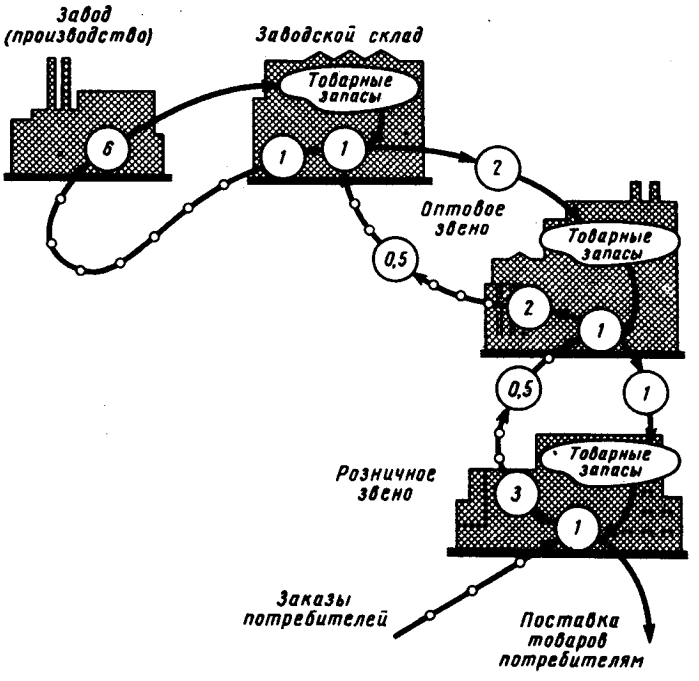
2. 2. Необходимая информация

Чтобы начать изучение нашего примера производственно-сбытовой системы, необходимо располагать информацией трех видов: об организационной структуре системы, о запаздываниях решений и действий и о правилах, регулирующих закупки и товарные запасы.

Организационная структура. На рис. 2-1 показана типовая организационная структура для функции производства и сбыта металлических бытовых изделий. Нижняя фигура представляет розничное звено. Следующая над ней — оптовое. Еще выше и левей изображены заводской склад готовой продукции и, наконец, само производство. Прерывистые линии изображают восходящий поток заказов на товары. Сплошные линии изображают отгрузку товаров. Следует отметить наличие запасов троякого уровня: на заводе, в оптовом и в розничном звеньях.

Запаздывания решений и действий. Чтобы иметь возможность определить динамические характеристики системы, необходимо также знать запаздывания в потоках заказов и товаров. Запаздывания указаны на рисунке в неделях и представляют собой обычные величины для предприятия, изготовляющего товары длительного пользования.

Поставка товаров потребителю в среднем занимает неделю с момента получения заказа от клиента. Запаздывания бухгалтерских операций и закупок составляют в розничном звене в среднем три недели от момента продажи вплоть до ее отражения в заявке на пополнение запаса. Время на отправку заказа по почте составляет полнедели. Оптовику требуется неделя для оформления заказа, а отправка товаров розничному звену занимает еще одну неделю. Аналогичные запаздывания имеют место и между оптовым звеном и заводским складом. На заводе в среднем уходит шесть недель с момента принятия решения об изменении темпа выпуска продукции до момента, когда производство достигает нового уровня.



Р и с. 2-1. Организация производственно-сбытовой системы.

Правила выдачи заказов и регулирования запасов. Чтобы завершить первоначальное описание примера, мы должны знать правила, регулирующие размещение заказов и размеры складских запасов в каждом звене реализации продукции. Мы рассмотрим три основных вида заказов: а) заказы на возмещение проданных товаров, б) заказы для пополнения запасов во всех звеньях в связи с изменением уровня продаж, в) заказы, необходимые для заполнения каналов обеспечения товарами по заказам, находящимся в стадии выполнения. Порядок выдачи заказов характеризуется следующим:

— На основе анализа продаж и в соответствии с запаздыванием закупки (три, две и одна неделя для соответствующих трех звеньев) заказы ближайшему высшему звену системы включают возмещение фактических продаж, реализованных заказывающим звеном.

— По истечении достаточного времени для определения средней величины краткосрочных колебаний продаж (восемь недель) принимаются меры для постепенного снижения либо повышения запасов в зависимости от увеличения или уменьшения оборота.

— Одна часть заказов, находящихся в процессе выполнения (отправленные почтой, невыполненные заказы у поставщика и товары в пути), всегда пропорциональна среднему уровню деловой активности и продолжительности выполнения заказа. Рост объема продаж, как и удлинение цикла поставок, обязательно вызывает увеличение общего объема заказов в каналах обеспечения. Эти заказы, находящиеся в процессе выполнения, совершенно неизбежны. Они являются частью «материальной базы» в структуре системы. При отсутствии заказов, специально предназначенных для заполнения каналов обеспечения (как это обычно бывает), соответствующая потребность в товарах на эти цели покрывается за счет снижения складских запасов, а это значит, что заказы на заполнение каналов товародвижения выдаются безотчетно под видом регулирования запасов.

Выдача заказов зависит также от ожидаемого объема продаж в будущем. Методы предвидения, которые состоят в распространении (экстраполяции) существующей тенденции на будущий период, приводят в общем к созданию менее устойчивой, колеблющейся системы. Однако для нашего примера мы используем установившуюся практику, определяющую темпы выдачи заказов, исходя из предположения, что нынешний уровень продаж, по всей вероятности, останется без изменений.

2. 3. Метод имитации

Прежде чем мы сможем определить воздействие описанной выше организационной структуры, запаздываний и правил на поведение системы, все приведенные ее характеристики должны быть выражены в четкой количественной форме.

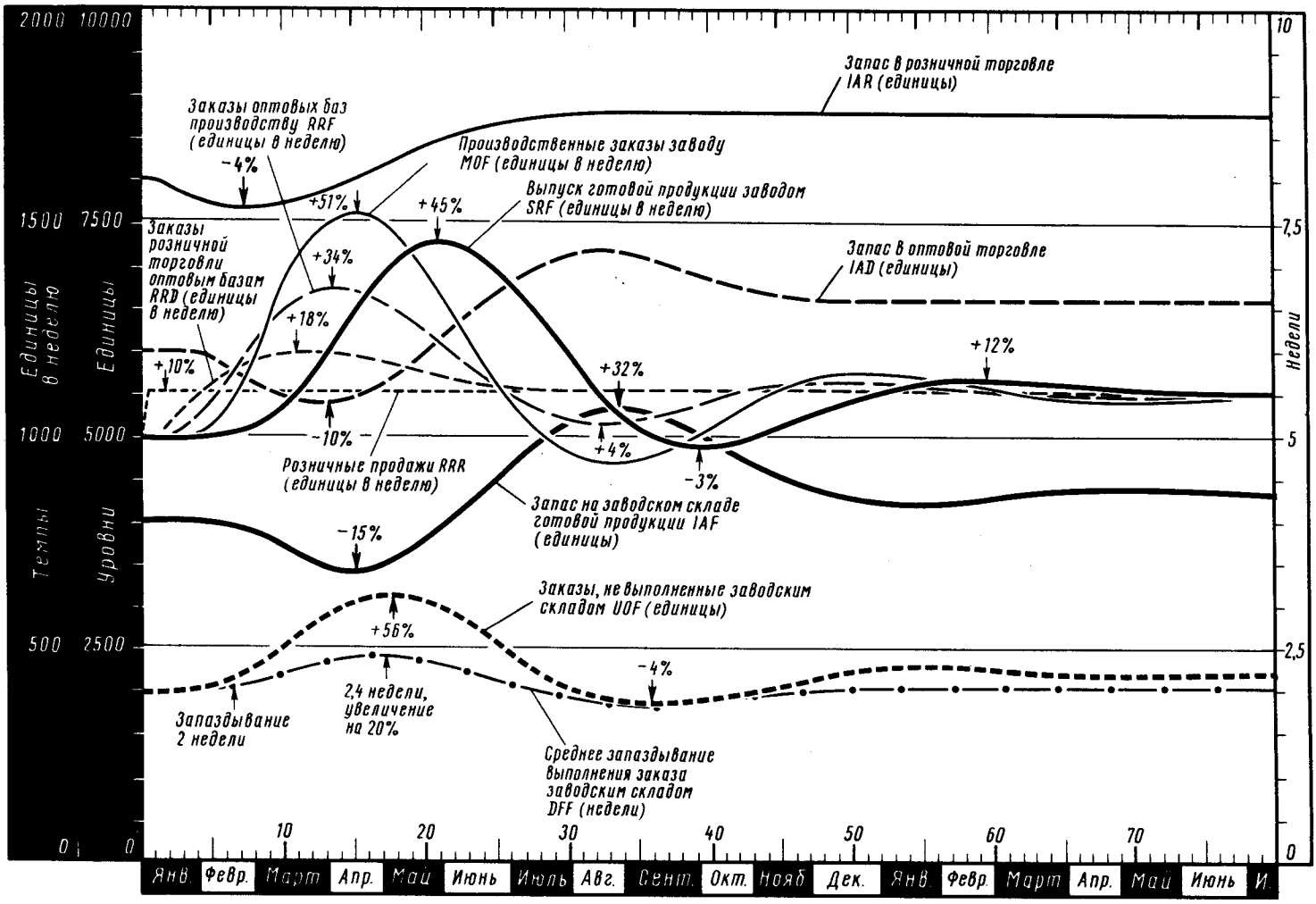
Построение уравнений, выражающих указанные взаимоотношения, будет представлено в главе 13. В данной же главе достаточно принять факт существования математической модели, которая может быть использована для более полного изучения характеристик системы.

Вслед за составлением четкого математического описания системы необходимо выяснить поведение системы в целом. Для этого мы можем воспользоваться произвольной схемой потребительских закупок в качестве входных данных и затем наблюдать за возникающими изменениями в состоянии складских запасов и в производстве продукции. Их воздействие на производственно-сбытовую систему можно выявить методами имитации. Последняя заключается в прослеживании, шаг за шагом, фактических потоков заказов, товаров и информации и в наблюдении за всем рядом принимаемых новых решений.

Примером имитации могла бы служить группа людей, сидящих вокруг стола, один из которых представляет розничное звено, другой— почтовую контору, третий — транспорт, четвертый — завод и т. д. Период времени в пять минут обозначал бы неделю, и в каждый отрезок времени можно было бы выдавать надлежащие заказы на закупку и производить поставки в соответствии с вышеописанными правилами, которые в более точной форме представлены уравнениями в главе 13. Впрочем, все это упражнение может быть выполнено одним человеком на бумаге в виде таблиц. Еще лучше осуществить всю эту процедуру с помощью цифровой электронно-вычислительной машины. Имитация с помощью цифровой вычислительной машины была использована для получения нижеследующих результатов.

2. 4. Испытание системы

Теперь можно проверить, каким образом вышеописанная производственно-сбытовая система будет реагировать на те или иные произвольно принятые вводные данные. Мы могли бы выбрать в качестве пробного ввода в систему некоторые фактические сведения из прошлой практики продаж. Однако это можно сделать впоследствии, поскольку на данной вступительной стадии такая сложная схема может внести путаницу. Целесообразнее для предварительного изучения взять простое, «чистое» изменение. Такое простейшее изменение имеет *ступенчатый характер* (то есть выражает мгновенный переход от одного постоянного уровня



Р и с. 2-2. Реакция промышленно-сбытовой системы на внезапное 10-процентное увеличение розничных продаж.

к другому) или же представляет *синусоиду* (плавное колеблющееся изменение). Более сложная искусственная схема может быть изображена кривой случайных помех с определенными статистическими характеристиками.

Ступенчатый ввод. Весьма показательным является ввод простого ступенчатого сигнала. Он вызывает одно смещение при вводе и позволяет наблюдать, как происходит последующая реакция внутренних компонентов системы на этот сигнал. На рис. 2-2 показан результат 10-процентного увеличения розничных продаж, имевших место в январе. Возникшие колебания представлены темпами выдачи заказов, выпуском продукции, размерами запасов на заводском складе и объемом невыполненных заказов. (В данном случае заказы розничного звена представлены в виде ввода, не зависящего от внутренних изменений в производственно-сбытовой системе. Между тем на деле они не являются независимыми, а испытывают влияние возможностей производства и действия рекламы.)

Ввиду запаздываний бухгалтерских расчетов, закупок и почтовой связи увеличение заказов оптового звена на 10% отстает от роста требований розничного звена приблизительно на месяц. Важно заметить, что этот подъем не прекращается при достижении 10%. По истечении 11 недель он достигает 18% благодаря новым заказам, поступившим от розничного звена: а) в целях некоторого увеличения товарных запасов и б) для поднятия на 10% уровня

заказов и товаров, находящихся в каналах обеспечения, дабы они соответствовали десятипроцентному увеличению объема продаж. Это увеличение складских запасов и товаров в каналах обеспечения является единовременным, неповторяющимся добавлением к объему обычных заказов, а когда они будут выполнены, то заказы розничного звена оптовикам снова сократятся до уровня десятипроцентного возрастания продаж.

Заказы, поступающие от оптовиков на заводской склад, колеблются еще резче. Это объясняется тем, что объем поступающих к оптовикам заказов покрывает более чем четырехмесячные обороты розничной продажи и легко создает ошибочное впечатление об устойчивом росте объема деловой активности. Поэтому заказы оптовиков, поступающие на завод, включают не только 18% прироста полученных ими заказов, но и соответствующее увеличение их складских запасов, а также увеличение заказов и товаров в процессе движения между заводом и оптовым звеном. В результате всего этого заказы, поступившие на заводской склад, достигают к 14-й неделе максимального увеличения в 34% по отношению к уровню прошедшего декабря.

Обратимся теперь к производственным заказам. Они выдаются исходя из возрастающего объема заказов, поступающих на заводской склад с учетом уменьшения запасов готовой продукции, которые снизились на 15%. Производственные заказы к 15-й неделе возросли на 51%. В результате на 21-й неделе выпуск продукции превысил уровень, достигнутый в декабре, на 45%. В то время как розничная продажа все еще выше декабрьского уровня на 10%, объем производства продукции испытал увеличение, которое в четыре раза больше роста продаж.

Важно отметить, что все эти воздействия имеют обратимый характер. Как только заявки розничного звена на пополнение запасов будут удовлетворены, его заказы соответственно сократятся. Оптовики обнаружат, что объем выданных ими заказов, а также уровень их товарных запасов и запасов канала обеспечения превышают действительные потребности. Этот избыток будет вычтен из текущих заказов производству, так что их уровень на 32-й неделе будет на 6% ниже уровня розничной продажи и только на 4% выше уровня, достигнутого в декабре. В сентябре и октябре на 39-й неделе выпуск продукции на заводе окажется на 3% ниже, чем в декабре, и на 13% ниже уровня текущей розничной продажи.

Изображенная на рис. 2-1 организационная структура и общепринятый порядок выдачи заказов и регулирования запасов приводят к тому, что требуется больше года для стабилизации заказов и производства на уровне, соответствующем увеличению розничных продаж на 10%.

Периодические колебания розничных продаж. Теперь рассмотрим проблему *случайных* периодических колебаний розничных продаж. Сначала допустим, что в прошлом наша система функционировала при постоянном уровне продаж, а затем на протяжении года наблюдался постепенный подъем и спад продаж.

На рис. 2-3 показано, каким образом подобные колебания розничных продаж усугубляются по мере продвижения заказа на завод. Раньше розничные продажи стабилизировались на уровне 1000 штук в неделю; поэтому опыт прошлого не давал повода планировать сезонность деятельности предприятий. В январе продажи начинают увеличиваться и в конце марта возрастают на 10%, а к концу сентября наблюдается 10-процентный спад и, наконец, в конце декабря возврат к «нормальному» уровню.

Первоначальное увеличение заказов и заводского выпуска продукции во многом похоже на картину, представленную на рис. 2-2, за исключением того, что первоначальные высшие точки кривой расположены ниже и отстают по времени. Однако в то время, когда система уже должна была выйти из состояния перепроизводства, она получает дополнительный понижающий толчок, вызванный спадом розничных продаж, который усилился по причинам, рассмотренным выше. В итоге число заказов, поступающих от оптовиков на завод, снизилось в октябре по сравнению с обычным уровнем на 40%, а объем выпуска продукции упал в ноябре на 60% в сравнении с нормальным уровнем.

В следующем году выпуск продолжает колебаться между верхними и нижними точками кривой, которые лежат примерно на 72% выше и соответственно на 60% ниже нормального уровня. Товарные запасы колеблются в пределах, указанных в табл. 2-1.

Мы видим, таким образом, как усиливаются периодические колебания по мере того, как мы переходим от розничного звена к заводу.

Таблица 2-1. **Диапазон колебаний объема запасов**

	Максимум, %	Минимум, %
Завод	+62	—45
Оптовая сеть	+32	—33
Розничная сеть	+12	—12

Случайные отклонения в розничных продажах. Следует отметить, что на рис. 2-2 и 2-3 представлены плавные кривые, не имеющие тех кратковременных случайных колебаний, которые можно видеть на большинстве графиков фактического движения заказов в промышленности.

Имитируя деятельность предприятия, конечно, невозможно учесть все те незначительные факторы, которые могут влиять на ход его операций.

Эти дополнительные воздействия могут быть представлены в виде «шумовых» или случайных нарушений, вводимых в пункты решений данной системы. Предположим, что мы собираемся изучать поведение нашей производственно-сбытовой системы не в условиях неизменного покупательского спроса, а в условиях изменяющегося из недели в неделю объема продаж.

Колебательная система, показанная на рис. 2-2 и 2-3, будет реагировать на случайные внешние нарушения колебаниями, отражающими характеристики самой системы в большей степени, чем при условии, когда эти колебания прямо определяются легко устанавливаемой внешней причиной.

Даже если средний уровень розничных продаж в каждом периоде устойчив (как это изображено на рис. 2-2) и не подвержен регулярным изменениям в различные периоды (рис. 2-3), то и тогда система, для которой характерна неустойчивость, будет превращать случайные явления в подъемы и спады объема заказов и производства продукции. Мы уже видели (рис. 2-2), что в ответ на внезапный скачок объем производства и товарных запасов обнаруживает тенденцию к колебаниям с разрывом в 8—9 месяцев между крайними точками. Всякий, кто знаком с характеристиками информационных систем с обратной связью, знает, что случайные возмущения на вводе могут вызвать аналогичные колебания.

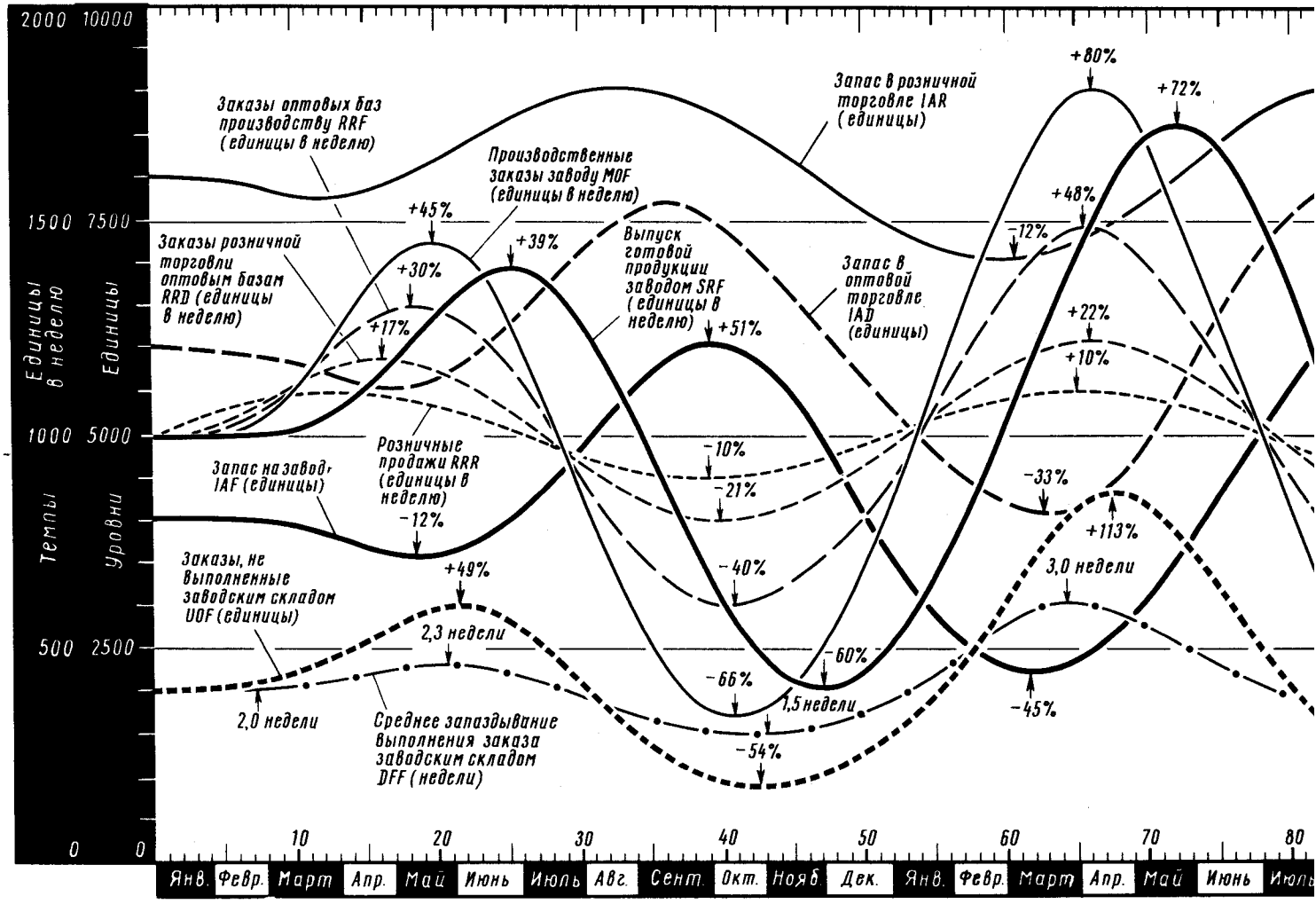
Ограниченная производственная мощность завода. До сих пор мы рассматривали только простые ситуации. Дополнительные фактические данные о деятельности фирмы могут быть введены в модель по мере надобности. В предшествующих примерах мы допускали, что завод может производить продукцию в любом объеме. Для более реальных условий, то есть когда принимается во внимание факт ограниченных производственных возможностей предприятия, характерны некоторые новые, весьма интересные последствия.

На рис. 2-4 показаны колебания системы, производственная мощность которой на 20% превышает средний уровень продаж. Как и раньше, система полностью стабилизирована в начале первого года; затем предполагается, что на протяжении каждого года происходит подъем и спад розничных продаж на 10%.

Объем розничных продаж никогда не достигает уровня производственной мощности. Тем не менее под влиянием запасов и товаров в каналах обеспечения заказы оптового звена, поступающие на завод, превышают его производственную мощность. Мало того, по мере замедления отгрузок продукции заводом оптовое звено начинает выдавать заказы в предвидении будущих потребностей и, таким образом, еще больше заказов вводится в систему. В результате этого завод работает на полную мощность в течение трех месяцев первого года.

Затем наступает удовлетворение требований на пополнение запасов, что совпадает с началом спада розничных продаж. Во второй половине года сокращение розничных продаж и исчерпание запасов происходят одновременно с уменьшением невыполненных заказов, и все это приводит к улучшению поставок. В третьем квартале наблюдается быстрое сокращение производственных запасов и задолженности по невыполненным заказам и внезапное увеличение запасов на заводском складе. Естественным результатом является резкое сокращение объема производства, которое падает на 62% в сравнении с нормальным уровнем.

В отличие от первого года во второй год система вступает в период диспропорциональности между объемом производства и средним уровнем продаж при увеличении количества заказов и сокращении товарных запасов. В итоге второго года происходит усугубление условий деятельности первого года. Темпы поступления заказов от оптового звена повышаются на 61% сверх нормального уровня и обнаруживают еще более резкий скачок, чем вызванный тенденцией оптовиков выдавать заблаговремен-

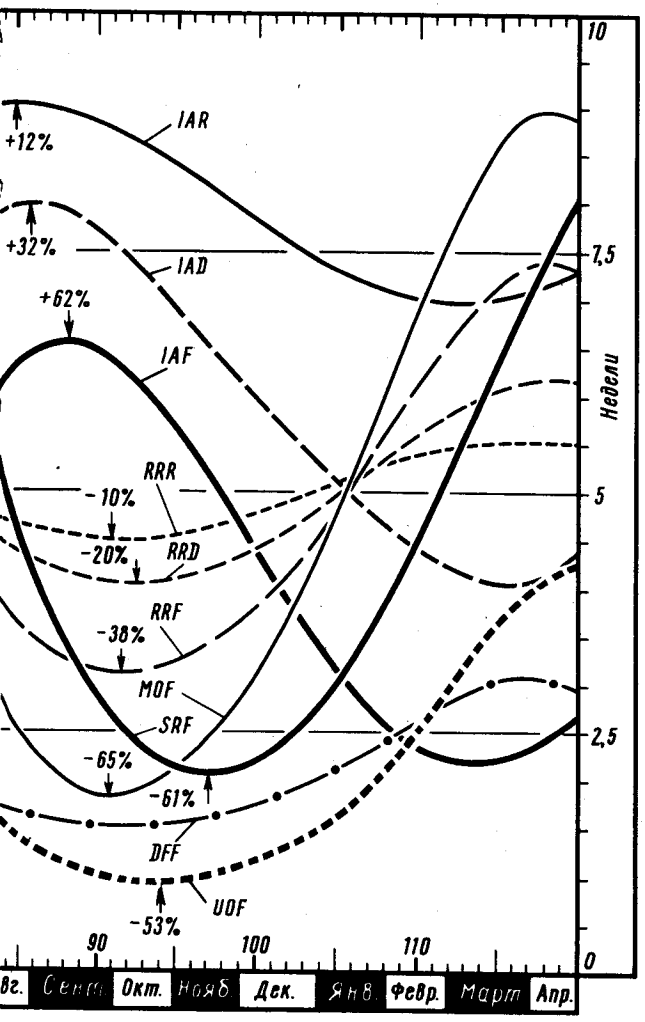


Р и с. 2-3. Реакция производственно-сбытовой системы на 10-процентное непредвиденное увеличение и падение

ные заказы в случаях замедления поставок. В течение 6 месяцев завод работает на полную мощность, чтобы удовлетворить запросы оптового звена. Объем невыполненных заказов возрастает до 345% сверх нормального уровня и представляет задолженность, которая больше обычной почти на шесть недель нормального выпуска продукции. Между тем заводские запасы уменьшились с четырехнедельного объема выпуска до величины, меньшей нормального недельного объема производства.

Несмотря на низкий уровень производственных запасов и замедление поставок, розничные запасы колеблются лишь в пределах 13%, и фактически нет оснований опасаться, что покупательский спрос останется неудовлетворенным. Уровень запасов в розничном звене достигает максимума в тот момент, когда производственные запасы минимальны.

Следует подчеркнуть, что на 81-й неделе объем отгрузок равен сумме поступающих заказов; уровень запасов — постоянный. Следовательно, в этот момент объем невыполненных заказов достигает своей максимальной точки и затем начинает снижаться. Поскольку завод в течение 8 месяцев выпускал продукцию с превышением по сравнению с объемом продаж и поскольку средний долгосрочный объем выпуска обязательно должен равняться объему розничных продаж, в оставшиеся четыре ме-



розничных продаж с периодом в один год.

сяца надо резко сократить производство продукции. Ее выпуск почти полностью приостановлен и падает до 79% ниже нормального; в течение 17 недель объем производства остается на уровне ниже среднего уровня розничных продаж.

В последующие годы, пока действующие правила хозяйственной деятельности не будут изменены, система будет функционировать в основном точно так же, как и во втором году.

На рис. 2-4 показано стечение обстоятельств, которое может побудить фирму к чрезмерному наращиванию производственных мощностей. На протяжении всего второго года запасы оставались ниже желательного уровня; в течение девяти месяцев (с ноября по август) задолженность по невыполненным заказам постоянно возрастала. В этих условиях руководство фирмы может легко предпринять меры по расширению мощностей (даже если уровень розничной продажи никогда не достигал объема выпуска продукции).

Объяснение поведения промышленного предприятия составляет лишь первый шаг исследования. После точной характеристики текущей деятельности конкретной фирмы или предприятия следующим шагом является определение путей улучшения методов управления для обеспечения успеха хозяйственной деятельности.

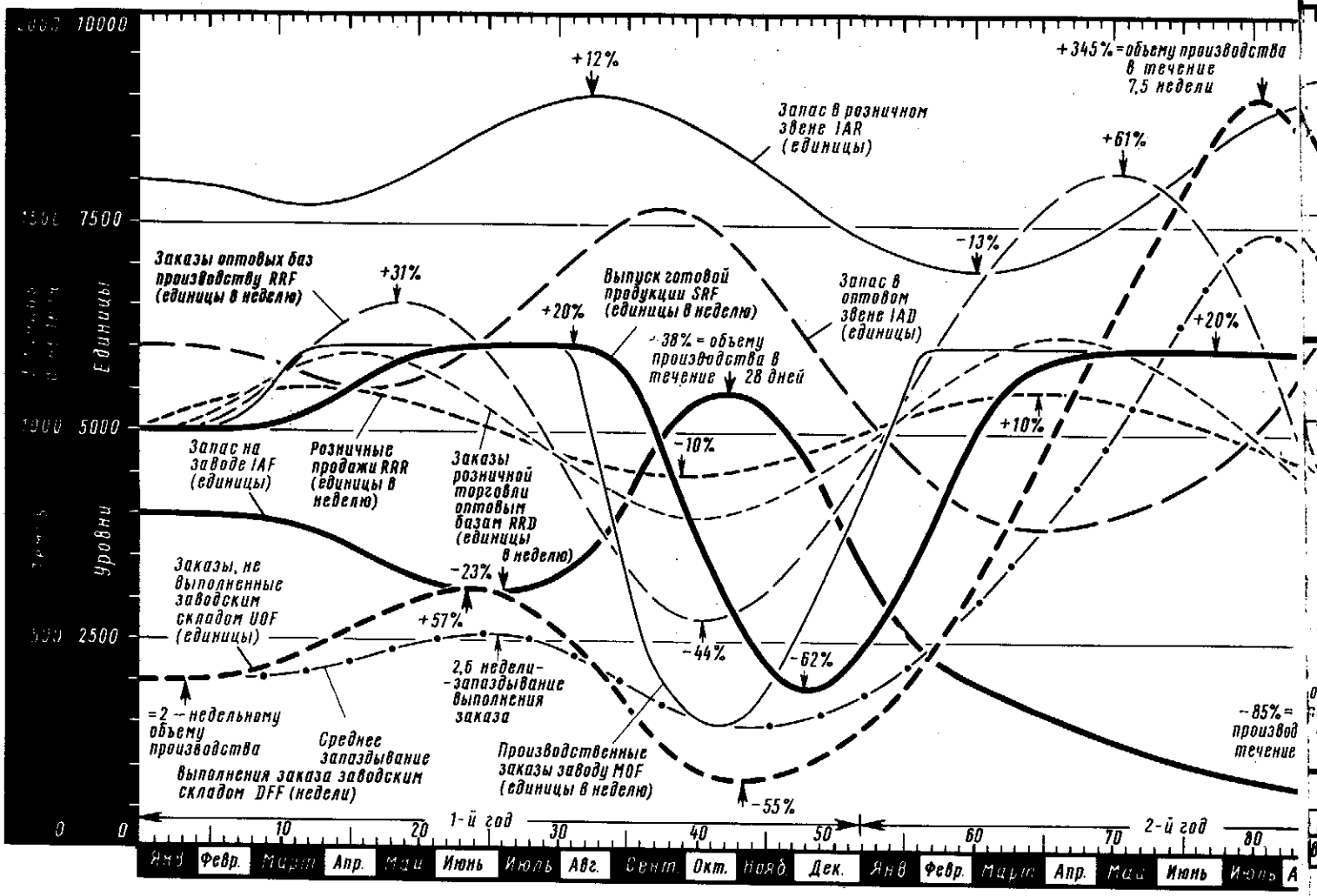
Ликвидация оптового звена. Одним из радикальных организационных мероприятий могло бы явиться изменение порядка прохождения заказов. В частности, розничное звено могло бы передавать заказы на продукцию непосредственно заводу, минуя оптовиков. Результаты такого изменения приведены на рис. 2-5.

Если устранить такие факторы, как накопление запасов, колебания числа заказов в процессе оформления и запаздываний в одном из трех звеньев системы, то увеличение объема производства в ответ на 10-процентное ступенчатое изменение продаж составит 26% вместо 45%, показанных на рис. 2-2.

Это обстоятельство выдвигает интересную проблему, относящуюся к тем предприятиям или отраслям, где имеется более трех звеньев товародвижения. Например, в текстильной промышленности, где часто существует четырех- или пятизвенное товародвижение от производства пряжи до конечного потребителя, наблюдается заметная неустойчивость. Не связана ли значительная степень неустойчивости, характерная для работы этой отрасли, с наличием такой многозвенности?

Изменение правил регулирования запасов. Поведение простой производственно-сбытовой системы по типу изображенной на графиках, по-видимому, гораздо больше зависит от практики регулирования запасов и невыполненных заказов, чем от любой другой характеристики системы. Величина изменения запасов и сроки их регулирования имеют очень важное значение. Они заслуживают специального внимания и должны быть тщательно рассмотрены руководителями предприятия.

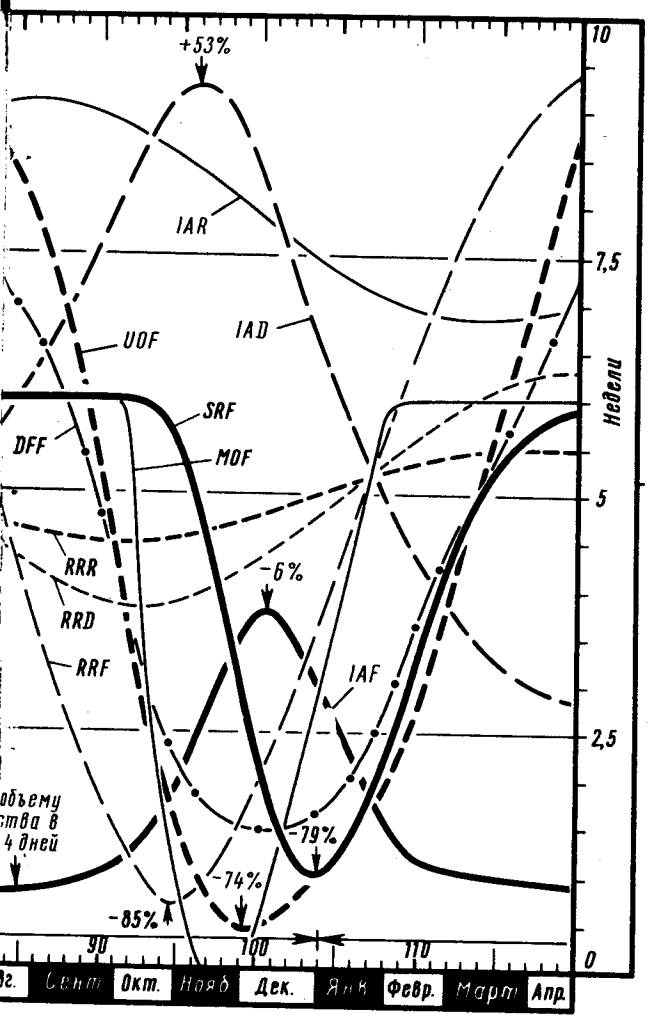
Например, на рис. 2-6 изображена та же производственно-сбытовая система, но при этом предполагается, что администрация изменила сроки регулирования запасов (но не всего



Р и с. 2-4. Влияние колебаний розничных продаж на производство при максимальной мощности завода, на 20%

объема корректировок, вносимых в систему). Во всех предыдущих примерах предполагалось, что регулирование запасов должно основываться на данных о продажах за 8 предыдущих недель (экспоненциальное выравнивание при константе времени в 8 недель). Это правило остается в силе и в данном случае, так что регулирование запасов никогда не может произойти раньше, чем это определяется запаздыванием на выравнивание продаж. Кроме этого, возникает вопрос, как быстро следует размещать заказы после выявления необходимой корректировки запасов. Если запасы ниже объема, желательного для обеспечения текущего уровня деловой активности, то какую долю разности или разрыва следует добавить к заказам, передаваемым на завод на следующей неделе?

Кривые выпуска продукции заводом показывают влияние различных сроков регулирования запасов. Каждая кривая соответствует определенной скорости регулирования, то есть известной недельной доле суммарного отклонения от нормального уровня запасов, которая должна быть учтена путем корректировки заказываемых объемов продукции для приведения их в соответствие с требованиями сбыта. Скорость регулирования колеблется от уровня верхней кривой, по которой заказы, предназначенные для компенсации любого нарушения нормального уровня запасов, а равно заказы, находящиеся в процессе выполнения, полностью



превышающей средние продажи.

выдаются на следующей неделе, вплоть до уровня нижней кривой, по которой только $^1/_{26}$ любого *остаточного* расхождения исправляется на следующей неделе. Нижняя кривая обеспечивает корректировку почти 60% первоначального нарушения на 26 недель, или возмещение почти 85% начального отклонения за 1 год.

Мы видим, что последующие предельные значения производства для еженедельного регулирования запасов (верхняя кривая) в результате внезапного подъема розничной продажи на 10% отклоняются соответственно на 57% вверх, на 10% вниз и на 15% вверх от первоначального уровня. Между смежными высшими точками имеется интервал в 27 недель.

В условии другой крайности, когда регулирование производится через 26 недель (нижняя кривая), верхняя точка кривой лежит только на 20% выше первоначального уровня и, по мере того как темпы производства достигают уровня, повышенного на 10%, постепенно снижаются.

Во всех других примерах данной главы применяется четырехнедельный срок регулирования запасов; так что кривая на рис. 2-6, обозначенная «$^1/_4$ в неделю», совпадает с кривой объема производства на рис. 2-2.

На рис. 2-6 видно, что постепенное регулирование запасов в связи с изменением уровня деловой активности приводит к большей стабильности. Далее, уменьшение колебаний производства достигается без увеличения крайних значений запасов.

Табл. 2-2 показывает минимальный объем запасов в каждом из звеньев системы и общий минимум всей суммы запасов в системе по сравнению с исходным их уровнем для различных сроков регулирования заказов. Общий объем изменений запасов меньше, чем сумма запасов отдельных звеньев, потому что крайние значения не совпадают во времени.

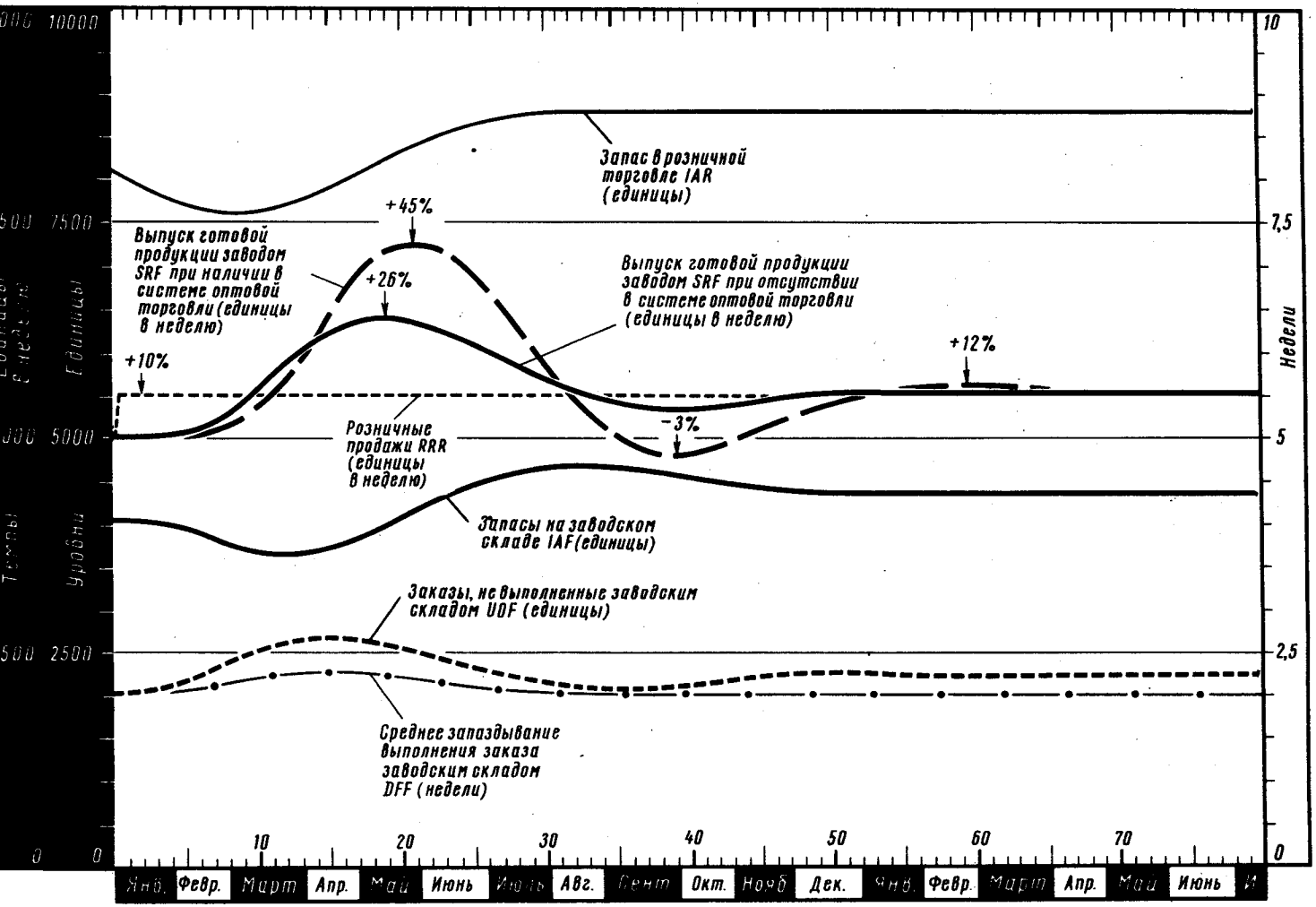
Таблица 2-2. Влияние сроков регулирования заказов на пополнение запасов на минимальный их уровень

Регулирование (время)	Розничное звено %	Оптовое звено %	Завод %	Итого %
1 неделя . . .	—3,6	—9,4	—16,0	—6,6
2 недели . . .	—3,9	—9,8	—15,8	—6,9
4 недели . . .	—4,2	—9,9	—14,8	—7,0
8 недель . . .	—4,6	—9,7	—13,0	—7,0
12 недель . . .	—4,8	—9,6	—11,9	—7,1
26 недель . . .	—5,2	—9,2	—10,2	—7,1

Следует заметить, что многие способы прогнозирования продаж имеют тенденцию ускорять реакцию запасов на изменение уровня продаж. Такое прогнозирование будет поэтому создавать менее стабильную работу системы. Это происходит из-за того, что корректировка запасов и товаров в каналах обращения концентрируется на периодах наивысших подъемов и спадов и обнаруживает тенденцию к самовоспроизводству.

Корректирование нормы запасов в одном звене принимается ближайшим вышестоящим звеном за *реальные* изменения деловой активности и становится основой для еще большей корректировки запасов.

Рассмотренный пример имитации поведения производственно-сбытовой системы в различ-



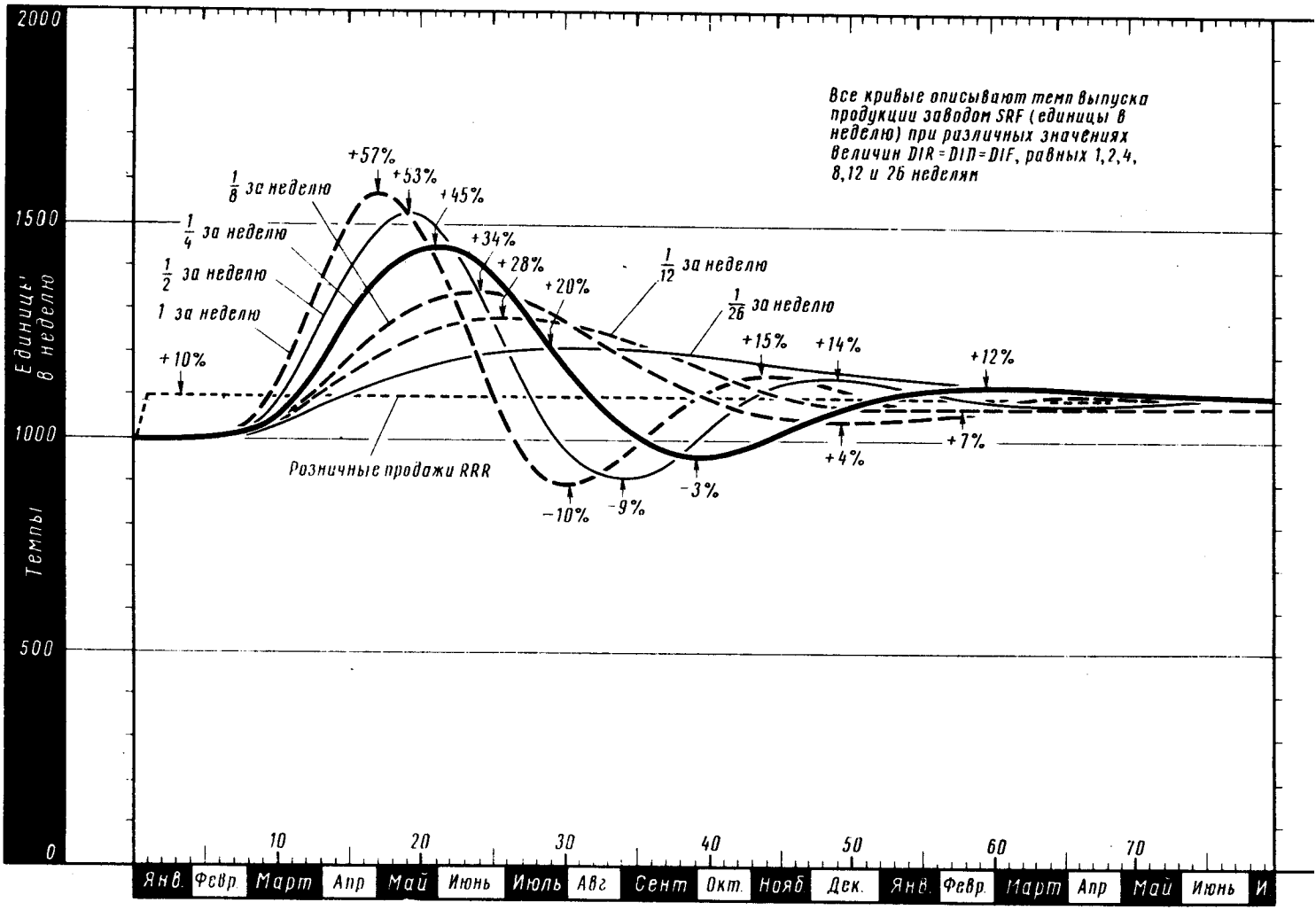
Р и с. 2-5. Исключение из системы звена оптовой торговли.

ных условиях розничных продаж далеко не исчерпывает всего содержания деятельности такой системы, в которой наряду с потоками заказов, товаров, информации важное место принадлежит потокам оборудования, денежных средств, рабочей силы и их взаимодействию друг с другом под влиянием многочисленных меняющихся внутренних и внешних условий объективного и сознательно регулируемого характера.

Так, например, исключительно важное значение для розничного товарооборота имеет характер и способ действия торговой рекламы, создание и освоение производства новых моделей продукции, ее усовершенствование и удешевление благодаря изменению методов производства.

В ряде случаев поведение системы и ее эффективность могут быть улучшены путем рационализации счетной и конторской работы, что дало бы значительное сокращение запаздываний в различных звеньях оформления и исполнения заказов, учета и анализа продаж, получения необходимой информации для принятия обоснованных решений и т. п.

Но поведение системы зависит и от таких факторов, как политика расширения завода, порядок установления и пересмотра цен, образ действия конкурентов, условия найма рабочей силы, а также уровень техники в данной от-



Р и с. 2-6. Изменение времени на корректировку объема запасов и размещение заказов.

расли промышленности. В идеале представляется желательным отразить все эти элементы в динамической модели предприятия. Но практически это сопряжено с большими трудностями, и, что особенно важно, детализация описания имитируемой системы усложняет ее модель в такой степени, что она в ряде случаев утрачивает свою четкость и познавательную ценность. Поэтому важно, чтобы исследователь умел в нужных случаях проявить разумное ограничение. Кроме того, необходимо применять четко целевой подход к имитации действия системы, не стремясь обязательно полностью отразить все многообразие ее функций и определяющих факторов, а последовательно анализируя различные стороны этой деятельности и постепенно подключая соответствующие важнейшие факторы, чтобы отчетливо выделить влияние каждого из них, а затем и совокупное воздействие их сочетания. В данной главе мы сделали попытку проиллюстрировать именно такой подход, не претендуя на исчерпывающее изучение построенной простой модели, а стремясь показать методику ее использования для познания внутренних динамических характеристик исследуемой системы. В последующих главах дано обстоятельное изложение важнейших вопросов моделирования промышленного предприятия и методов его изучения как информационной системы с обратной связью.

Глава 3

МОДЕЛИ

Модели могут служить основой для проведения экспериментов с меньшей затратой средств и в более короткие сроки, чем при исследовании изменений на реальных системах. Социологические модели должны отражать всю информационную систему с обратной связью, а не отдельные изолированные ее элементы. Наши эмпирические знания дают богатый материал, позволяющий создавать динамические модели.

Модели получили широкое признание как средство изучения сложных явлений. Они заменяют реальное оборудование или целую систему. Ценность моделей заключается в том, что они гораздо эффективнее способствуют более глубокому пониманию неясных характеристик поведения системы, чем если бы это делалось путем наблюдения за реальной системой. Модель может давать необходимую информацию при меньшей затрате средств, чем представляемая ею реальная система. Создается возможность более быстрого приобретения знаний в условиях, не наблюдаемых в реальной действительности.

3. 1. Классификация моделей

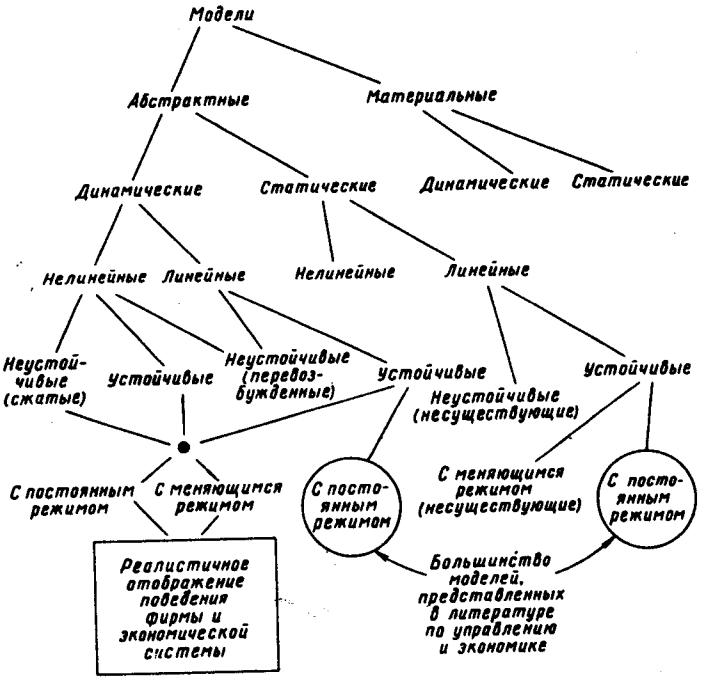
Модели можно классифицировать по-разному. Вариант группировки моделей, представляющий интерес для нашего исследования, приведен на рис. 3-1.

Материальные или абстрактные. Прежде всего можно выделить модели материальные и абстрактные.

Материальные модели наиболее доступны для понимания. Обычно это копии исследуемых предметов, часто — уменьшенные.

Статические материальные модели, например архитектурные, помогают наглядно представить размещение элементов на плоскости и пространственные соотношения. Примером динамических материальных моделей служит аэродинамическая труба, применяемая для изучения аэродинамических характеристик проектируемых летательных аппаратов.

Абстрактные модели состоят не из материальных элементов, а из символов, и применяются они гораздо чаще, чем материальные, но они не всегда считаются моделями. Используемая символика может иметь форму письменной речи или мыслительного процесса С помощью мысленного представления или словесного описания может быть построена модель фирмы и ее деятельности.



Р и с. 3-1. Классификация моделей.

Хозяйственные руководители постоянно имеют дело с такими мысленными и словесными моделями фирмы. (Это мысленное представление о фирме, и оно не обязательно точное.)

Модели призваны заменить в нашем представлении реальную систему.

Математическая модель является особой разновидностью абстрактных моделей. Она выражается языком математических символов и, как другие абстрактные модели, является *описанием* представляемой системы. Математические модели широко применяются, но воспринимаются они труднее, чем материальные, и не столь часто встречаются в повседневной практике, как словесные модели.

Уравнения, описывающие напряжения в конструкции, представляют собой статическую математическую модель балок и опор. Уравнения движения планет вокруг солнца являются динамической математической моделью солнечной системы.

Математическая модель представляет собой более четкое описание, чем большинство словесных моделей. При построении математических моделей мы начинаем со словесных и уточняем их до тех пор, пока нам не удастся перевести их на язык математики. Сам по себе перевод не труден. При переходе от словесных утверждений к математическим трудности возникают в том случае, когда исходная словесная модель является неточным описанием и ее недостатки обнаруживаются при попытке преобразования в математическую форму.

Преимущество математической модели в сравнении со словесной или материальной заключается в том, что с ней легче оперировать, ее логическая структура более определенна, на ее основе легче проследить путь от предположений до вытекающих из них следствий.

Статические или динамические. Модели могут отражать ситуации, меняющиеся или не меняющиеся во времени. Статическая модель описывает взаимосвязи, не подверженные изменениям. В динамической модели рассматриваются отношения, изменяющиеся во времени.

Линейные или нелинейные. Системы, отображаемые в моделях, могут быть линейными и нелинейными; соответственно классифицируются и модели.

В линейной системе внешние воздействия просто суммируются [1]. При линейной тактовке предприятия удвоение числа поступающих заказов вызвало бы в любой последующий момент времени в десять раз большие изменения, чем увеличение объема заказов на 10%. В такой модели предприятия не учитываются ограничения производственной мощности; производительность труда не должна снижаться даже в том случае, если возникнет избыток рабочей силы по сравнению с наличным оборудованием, а осуществление крупных изменений мощности предприятия требует не больше времени, чем незначительные изменения такого рода. Рабочая сила, оборудование и материалы — каждый из этих элементов оказывал бы свое влияние на производство совершенно независимо от состояния двух других; в частности, наличия двух элементов — рабочей силы и оборудования — было бы достаточно для выпуска продукции даже при полном отсутствии материалов. Линейные модели приемлемы во многих работах в области физики, но они не в состоянии отразить существенные характеристики промышленных и социальных процессов.

При помощи линейных моделей гораздо проще достигнуть конкретного математического решения, чем при помощи нелинейных. За незначительным исключением математический анализ не дает общих решений для нелинейных систем. Поэтому когда для приближенного отражения нелинейных по существу явлений используются линейные модели, то нелинейные характеристики этих явлений утрачиваются.

Как только мы отказываемся от попытки найти общее решение, которое описывало бы в едином комплексе все возможные характеристики поведения системы, сразу же исчезает различие в сложности исследования линейных и нелинейных систем. Методы моделирования, дающие частное решение для каждой отдельной совокупности условий, одинаково применимы для анализа как линейных, так и нелинейных систем.

---

[1] В линейных системах используется понятие «наложение». В такой системе реакция на любое возмущающее воздействие происходит независимо от предшествующих и последующих воздействий; общий результат в точности равен сумме отдельных реакций системы. Реакция на ввод в систему не зависит от того, когда он произошел, если речь идет о линейной системе с постоянными коэффициентами (но не в линейной системе с изменяющимися во времени коэффициентами). В реальной линейной системе могут иметь место только колебания затухающие или постоянные по своей амплитуде; усиливающиеся же колебания в ней недопустимы, потому что они ничем не ограничены и будут возрастать до катастрофических размеров. Все это не относится к реальным промышленно-сбытовым и экономическим системам. Поведение многих систем, которые нас интересуют, обусловлено нелинейными явлениями.

Устойчивые и неустойчивые. Динамические модели, в которых условия меняются во времени, могут быть разделены на устойчивые и неустойчивые, точно так же, как и реальные системы, которые они отражают, можно охарактеризовать как устойчивые или неустойчивые.

Устойчивой является такая система, которая, будучи выведена из своего исходного состояния, стремится вернуться к нему. Она может колебаться некоторое время около исходной точки, подобно обычному маятнику, приведенному в движение, но возмущения в ней со временем затухают и исчезают.

В неустойчивой системе, находящейся первоначально в состоянии покоя, возникшее возмущение усиливается, вызывая увеличение значений соответствующих переменных или их колебания с возрастающей амплитудой. В нелинейной системе, которая при обычных условиях неустойчива, могут возникнуть колебания, возрастающие до тех пор, пока их не ограничит появление нелинейных по форме воздействий (недостаток рабочей силы, производственной мощности или же материальных ресурсов). Продолжающиеся колебания в этих условиях можно рассматривать как достигшие устойчивой амплитуды изменений от максимума до некоторого минимума. Очевидно, что в экономических системах максимальные уровни деловой активности ограничены ресурсами, а минимальные — нулевым ее значением.

Есть основания полагать, что производственно-сбытовые и экономические системы, представляющие для нас наибольший интерес, часто относятся к тому типу, в котором, как в неустойчивых системах, малые возмущения усиливаются до тех пор, пока не натолкнутся на нелинейные (по форме) ограничивающие факторы.

С устойчивым или меняющимся режимом. Модели (и системы) могут далее различаться в зависимости от того, является ли их поведение по своему характеру установившимся или изменчивым.

Модель с изменчивым режимом является цикличной, так что ее поведение в некоторый период времени носит тот же характер, что и в любой другой. С известной точки зрения модель неувеличивающейся национальной экономики, которая обнаруживает циклический характер деловой активности, можно считать колеблющейся в устойчивом режиме, несмотря на то что ни одна отдельно взятая последовательность событий никогда не повторяется совершенно одинаково. Точно так же при выяснении некоторых вопросов можно считать (как это делается в настоящее время с автомашинами), что длительный период эффективной эксплуатации определенного вида изделий можно представить в форме динамической модели с устойчивым режимом. В системах, относящихся к управлению хозяйственными организациями, устойчивый режим поведения представляет собой особый частный случай. (Система, рассматриваемая в главе 2, является динамической моделью с устойчивым режимом.)

Модели с меняющимся режимом отражают такие системы, которые с течением времени изменяют свой *характер*. Системе, обнаруживающей признаки роста, свойственны черты неустойчивости поведения. Изменчивые реакции представляют собой однократные, неповторяющиеся явления. Многие важные проблемы управления (например, рост фирмы, строительство нового предприятия, расширение рынка) изменчивы по своему характеру.

Открытые или замкнутые. В дополнение к классификации, показанной на рис. 3-1, модели могут быть «открытыми» и «замкнутыми». Но различие между ними не столь четкое, как можно было бы судить по названиям. Модели могут быть «открытыми» в разной степени.

Замкнутой динамической моделью является модель, которая функционирует вне связи с внешними (экзогенными) переменными. В замкнутой модели изменения значений переменных во времени определяются внутренним взаимодействием самих переменных. Замкнутая модель может выявить интересное и поучительное поведение системы без ввода переменной извне [1].

Информационные системы с обратной связью по существу являются замкнутыми системами. Это самонастраивающиеся системы, и наиболее интересные их характеристики вытекают из внутренней структуры и взаимодействий, а не в порядке реакций, которые лишь отражают ввод информации извне.

Интересующие нас модели могут приводиться в действие как замкнутые системы. При этом первостепенный интерес представляют внутренние динамические взаимодействия. Мы не всегда будем отдавать предпочтение изучению строго замкнутых моделей. Часто бывает целесообразно в порядке эксперимента ввести данные извне, чтобы возбудить внутренние реакции системы. Импульсы, скачки, гармо-

[1] См. в главе 12 о вводе внешней информации в модели.

нические колебания и помехи (случайные возмущения) обычно вводятся при такого рода экспериментах. Эти внешние (экзогенные) вводы имеют смысл только при условии, если мы готовы допустить, что внешние вводы совершенно независимы от результирующей реакции внутри системы.

Модели промышленных систем. Большинство математических моделей, которые встречаются в литературе по управлению и экономике, принадлежит к одной из двух групп, отмеченных кружками на рис. 3-1. Почти все они устойчивые, линейные, с постоянным режимом. Одни — статические, другие — динамические. Такие модели при анализе экономических систем не были особо эффективными. Модели ситуаций, складывающихся в промышленном производстве и изучаемых методами исследования операций, нередко возмещали с избытком затраты на анализ, но и они не решали важнейших проблем хозяйственного руководства. Чтобы модель можно было использовать для исследования практических вопросов хозяйственного руководства и экономических проблем первостепенной важности, нужно, чтобы она включала все разновидности, перечисленные в схеме на рис. 3-1. Управление крупными фирмами имеет дело с изменчивостью условий роста и с устойчивостью нормальных колебаний хозяйственной активности и неопределенностью ее результатов.

Устойчивые промышленные системы могут иметь место в отраслях, производящих предметы широкого потребления. Неустойчивые системы, ограниченные только входящими в них нелинейными функциями, имеют, очевидно, место в производстве оборудования и предметов длительного пользования, и, пожалуй, также в отношении американской экономической системы в целом. Чтобы создать действительно эффективную модель промышленного предприятия, в нее следует включить нелинейные функции в виде ограничений производственной мощности, дефицита рабочей силы и ограниченности кредита, а также учесть зависимость решений от комплексного взаимодействия между переменными.

Поскольку время и связанные с ним изменения составляют главную заботу хозяйственного руководителя, эффективная модель должна быть динамической и способной создавать собственную эволюцию во времени.

Таким образом, речь идет о таких математических моделях, которые могут применяться для отражения последовательного во времени действия *динамических* систем *линейных* и *нелинейных*, *устойчивых* и *неустойчивых*, с *постоянным* или *меняющимся* режимом. Модель должна быть пригодна для воспроизведения того, что мы называем *организационными формами*, *методами управления*, а также тех *явных* и *скрытых* факторов, которые определяют характер развития системы во времени. Эти модели слишком сложны (десятки, сотни и тысячи переменных) для аналитического решения. Ведь современная математика может аналитическими методами решать лишь самые простые задачи из области нелинейных систем. Между тем модели, рассматриваемые в данной работе, применяются для имитации определенного порядка действий, являющегося результатом определенного комплекса исходных условий в сочетании с известной комбинацией помех и иных вводов в систему. Это экспериментальный, эмпирический подход в поиске правильного понимания проблемы и, следовательно, лучших результатов, однако без гарантии нахождения «оптимальных» решений того или иного вопроса.

В науке об управлении и в экономической литературе термином «математическая модель» обычно обозначаются любые математические взаимосвязи между вводом и выводом применительно к какой-либо части системы. В терминологии, принятой для технических целей, эту реакцию на выводе части системы в ответ на один или несколько вводов называют обычно «передаточной» функцией.

Данная функция определяет, каким образом условия на вводе передаются на вывод. В данном контексте простое математическое выражение, описывающее воздействие какого-либо звена системы на другие, непосредственно к нему примыкающие, мы не будем называть «моделью», а будем передавать его одним из синонимов: «передаточная функция», «функциональная связь», «уравнение решения» или «уравнение темпа». В противоположность этому «модель» будет означать систему, состоящую из комплекса взаимодействующих «уравнений решения».

3. 2. Модели в естественных науках, технике и общественных науках

Математические модели, применяемые в общественных науках, часто сравнивают с несложными моделями из области физических наук и биологии. Это может дать повод к заблуждению.

Созданные модели солнечной системы, атома, ньютоновских законов движения, а также наследственности намного проще, чем модели, которые могут оказаться эффективными при анализе промышленных предприятий и экономических систем.

Для естественнонаучных систем чаще всего применяется анализ, основанный на допущении об их линейности. Большинство естественнонаучных систем, для которых удалось создать удачные модели, содержали в себе значительно меньше помех (неопределенности) по сравнению с нашими социальными системами. В естественных науках модели строятся на основе объяснения явлений, которые поддаются наблюдению, но обычно не подвержены изменениям. Методы установления статистических закономерностей, успешно применяемые в биологии при определении влияния косвенных причин на изменение наследственности, не обязательно окажутся эффективными при изучении социальных систем, где имеет место обратное воздействие следствия на причину.

Подход к источникам и задачам естественнонаучного и социологического моделирования был одинаков, и это нанесло ущерб развитию моделирования общественных систем.

Модели в технической и военной областях настолько отличаются от моделей естественнонаучных систем, что вполне можно говорить об их принципиальном отличии. Они создаются разными путями и служат различным целям.

Модели, применяемые в технике и военном деле, гораздо ближе к моделям в области общественных наук, чем модели систем биологических и естественнонаучных. Управление и экономика, подобно технике, имеют дело с комплексными системами гораздо более высокого порядка, чем отдельные элементарные явления, которые зачастую являются объектом моделирования в естественных науках. В отличие от обычных естественнонаучных систем технические системы по своей сложности приближаются к общественным. Как технические, так и социальные системы имеют непрерывную градацию факторов (от несомненно важных к неопределенным и далее — к совершенно незначительным) по степени их влияния на каждое отдельное действие и решение. В отличие от этого естественнонаучные системы характеризуются резким разрывом между немногими важнейшими факторами, которые включаются в состав модели, и теми почти совершенно несущественными факторами, которыми пренебрегают. Для социальных систем особенно характерна замкнутость контура (обратные информационные связи), которая имеет место и во многих технических системах, но не свойственна большинству моделей в основных естественных науках. В моделях социальных систем, как и в технических (в отличие от простых естественнонаучных моделей), нас должны интересовать неустановившиеся, нециклические, неповторяющиеся явления.

Динамические модели оказались необходимыми при проектировании физических систем. Они применяются в авиационной технике, в проектировании управляющих систем для военных целей и при изучении сетей связи. Они включают людей и технику, поэтому они приобретают аспект социальных систем. Современную передовую технику невозможно было бы создать без знаний, полученных на основе математического моделирования.

О влиянии математических моделей на решения в области экономики и управления предприятиями этого сказать нельзя. Хотя моделирование в экономических исследованиях применяется уже давно, оно не пользуется общим признанием в качестве инструмента, помогающего хозяйственному руководству предприятия или целой страны.

Многие из неудач в построении экономических моделей могут быть объяснены ошибочными методами и попытками решить невыполнимые задачи. Нам необходим новый подход к построению и применению моделей социальных систем.

Цели. Вышеназванный контраст в отношении эффективности динамических моделей в технике и в экономике может быть частично объяснен характером использования средств построения моделей. Особенности применения моделей в этих областях вытекают, по-видимому, из различий в подходе к их конечным целям. В технике модели используются для *проектирования* новых систем, в экономике же они обычно применяются для *объяснения* систем уже существующих. Но оказывается, что в моделях, созданных исключительно для объяснения, ставились столь ограниченные задачи, что эти модели оказывались непригодными не только для проектирования, но даже для объяснения моделируемых явлений.

Основа модели. Модели технических систем строятся на основе данных об отдельных составных частях этих систем. Проектирование модели системы в восходящем порядке, отправляясь от строго определенных и наблюдаемых

ее элементов,— эффективный метод, многократно и успешно применявшийся в прошлом.

В экономике модели нередко создавались в обратном порядке, исходя из суммарных результатов действия всей системы. Даже если ставить чисто теоретические задачи, нет никаких оснований полагать, будто такой обратный процесс построения модели (отправляясь от поведения системы в целом и переходя к характеристике отдельных ее частей) может дать положительные результаты в применении к усложненным системам с большим количеством помех, которые встречаются в экономике и управлении предприятиями.

Попытка воспроизвести существующую экономическую систему приводит к созданию моделей, представляющих собой результат статистической обработки данных о прошлом поведении системы в течение изученных периодов времени. Весьма маловероятно, что внутренние причинные механизмы сложной нелинейной информационной системы с обратной связью могут быть объяснены на основе ряда внешних наблюдений за обычными действиями данной системы. В противоположность этому использование моделей для *проектирования* физических систем переносит центр тяжести на модели систем, еще не существующих, но могущих быть созданными на основе уже наблюдаемых результатов. Модель самолета, испытываемая в динамической трубе, не строится для того только, чтобы воспроизвести наблюдавшееся ранее поведение уже известного типа летательного аппарата; она не создается также, чтобы воспроизвести некоторое подобие среднего арифметического всех сконструированных ранее самолетов. Она строится для каждой части отдельно с тем, чтобы так отразить испытываемый новый самолет, чтобы можно было с помощью модели изучить взаимодействие всех частей и летные качества самолета как единого целого.

Создавая модель системы, мы должны меньше полагаться на статистические и формальные данные, а полней использовать обширный запас описательной информации.

Оценка модели. Проверка *адекватности* модели также различна в зависимости от того, применяется ли она в технике или в экономике. В технической и военной областях модель оценивается ее способностью отражать такие динамические характеристики систем, как усиление, ширина поля допуска и чувствительность к меняющимся условиям. В экономике модели часто оценивались в зависимости от того, насколько с их помощью можно было предсказать *специфическое состояние* системы в некоторый будущий момент времени, и модели обычно не выдерживали испытаний на точность прогноза.

При создании моделей нам следовало бы меньше уделять внимания предсказанию *определенных действий* в будущем и больше — углублению понимания *характеристик*, внутренне присущих системе. Существуют, как нам кажется, серьезные причины, не позволяющие использовать модели для прогноза специфического состояния системы на достаточно длительное время, чтобы это могло иметь практическое значение. Но если это так, то точность прогноза специфической последовательности действий не является целесообразным моментом в испытании моделей.

Вместо этого модель следовало бы оценивать по ее способности воспроизводить или предсказывать *характеристики поведения* системы — устойчивость, колебания, рост, средний период колебаний, общие взаимосвязи переменных, изменяющихся во времени, и тенденцию к усилению или ослаблению возмущений, вызванных внешними причинами.

Подобие моделей и систем. В технике математические модели в большей мере соответствуют отражаемым реальным системам в отношении деталей структуры и действий, чем в классических экономических моделях. Барьер непонимания, отделяющий математические модели общественных наук от руководящего персонала промышленных предприятий и государственных учреждений, был почти непреодолимым. Это обстоятельство усугубляется тем, что модели социальных систем в отличие от моделей физических систем описываются в терминах, не принятых в данной области. Расхождения в терминологии могут возникнуть из различия исходных точек зрения. Администратор имеет дело с отдельными частями своей организации, совершенно аналогично тому, как инженер — с деталями своего самолета; при этом администратор не пользуется абстрактными коэффициентами, которые нельзя приурочить к конкретным источникам в реальной системе. Проектировщик же модели, выявляющий взаимосвязи путем статистического анализа, может оперировать своими коэффициентами как абстрактными эмпирическими результатами, которые не совпадают с определенными признаками реальной системы.

В последующих главах мы попытаемся придать каждой переменной и каждой константе конкретный смысл, соответствующий повсе-

дневной практике управления. Поскольку каждая константа по своему существу будет иметь физический или логический смысл, можно будет судить о ее соответствии реальности.

3. 3. Модели для контрольных опытов

Математические модели позволяют ставить контрольные опыты. Таким путем можно проверять результаты различных допущений и влияния внешних факторов. В отличие от реальной системы модель позволяет наблюдать результаты изменения одного фактора при неизменности всех прочих.

Такое экспериментирование создает возможность более глубокого рассмотрения характеристик моделируемой системы. Используя модель сложной системы, можно больше узнать о внутренних взаимодействиях, чем при манипулировании реальной системой. Ведь по своему содержанию модель дает возможность более полно выявить организационную структуру системы, ее образ действий, ее чувствительность к различным событиям. А в формальном отношении это позволяет наблюдать влияние гораздо более широкого круга обстоятельств, чем это возможно в реальной жизни.

На модели можно производить наблюдения таких переменных, которые не поддаются учету в реальной системе. Адекватная модель должна включать любые «неуловимые» факторы, которые, по нашему убеждению, существенно влияют на поведение системы. Неуловимые в реальной действительности факторы и наши допущения о них в модели становятся осязаемыми и поддаются наблюдению. Таким путем мы получаем возможность проследить последствия наших допущений.

3. 4. Механизация модели

Динамическая математическая модель дает описание возникновения действий, которые должны сменять друг друга в известной последовательности. Чтобы модель была эффективной, ее следует механизировать, а для этого нужно установить определенный способ выполнения необходимых действий.

Действия, предусмотренные в модели, могли бы выполняться группой людей, олицетворяющих отдельные части имитируемой реальной системы. Их решения и действия приводили бы к определенным результатам, которые в свою очередь являлись бы отправными данными для последующих решений и действий. Такая имитация с привлечением группы людей использовалась при изучении реальных систем. Это хороший способ показа основных принципов действия системы учащимся в аудитории. Но при исследовании больших систем он обременителен и является дорогостоящим.

Для выполнения тех же операций вместо группы людей можно использовать цифровую вычислительную машину. Затраты составят меньше тысячной доли стоимости тех же вычислительных операций, выполняемых группой людей. Такого рода задача наиболее подходит к уникальным характеристикам цифровой электронной машины.

3. 5. Область применения моделей

В недавние годы стало возможным создавать динамические модели поведения предприятий, достаточно полно отражающие взаимодействие между производством, сбытом, рекламой, исследовательскими работами, капиталовложениями и потребительским спросом. При такой постановке вопроса в модель могут быть включены как материальные, так и психологические факторы.

В наши дни техника построения моделей и стоимость вычислений уже не ограничивают круг систем, доступных для изучения. Теперь прогресс будет определяться темпами расширения и уточнения наших знаний о промышленных предприятиях.

Непосредственная задача сейчас состоит в том, чтобы обратиться к нашей литературе и науке об «описательном управлении» и «описательной экономике» и формализовать наши представления об отдельных составных частях той и другой. Это даст возможность улучшить наше понимание взаимодействия частей. При исследовании построения динамических моделей в данной работе не делается никакого различия между фирмами, предприятиями и экономикой в целом, ибо различия в подходе или произвольные разграничения между микроэкономикой и макроэкономикой, на наш взгляд, неправильны. Такими принципами мы руководствуемся во всех случаях. Одинаковые теоретические соображения будут определять в нашем анализе и способы агрегирования показателей. Возможности совершенствования наших знаний в обоих случаях имеют те же ограничения в отношении выполнимости задач. Поэтому соображения, излагаемые в данной книге, в одинаковой степени применимы для всех

хозяйственных единиц — от динамического поведения отдельной фирмы до мировой экономики.

3. 6. Задачи применения математических моделей

Математическая модель промышленного предприятия должна способствовать пониманию последнего. Она должна также быть полезным руководящим началом для правильных суждений и интуитивных решений. Она должна помогать в установлении желательного образа действий. Использование модели предполагает, что

— мы располагаем известным знанием частных характеристик системы;

— эти известные и предполагаемые факты в их взаимодействии влияют на характер развития системы;

— наша способность интуитивно представлять взаимодействие частей менее надежна, чем наши знания о каждой из них;

— построив модель и наблюдая на ней взаимодействие различных факторов, мы сможем лучше понять анализируемую систему.

Эти допущения составляют ту же основу, на которой мы строим модели планировок и оборудования. Модель фирмы будет оправдана постольку, поскольку она позволит улучшить управление фирмой. Это не значит, что результаты должны быть совершенными, чтобы модель оказалась эффективной. Модель может принести пользу при определении степени чувствительности производственной системы к изменениям ее образа действий или структуры. Она может помочь в определении относительной ценности информации, отличающейся по своему характеру, точности и своевременности. Она может показать, насколько система усиливает или ослабляет возмущения, вызванные воздействием окружающей среды. Это инструмент выявления уязвимости системы под воздействием колебаний, чрезмерного расширения или спада. Модель может указать способ действия, который позволит улучшить ее характеристики. Одним словом, математические модели должны служить орудием «организации предприятия», то есть проектирования таких промышленных организаций, которые наилучшим образом отвечают своему назначению.

Из вышеприведенных соображений следует, что эффективная модель реальной системы должна выражать *сущность* системы; она должна показывать, каким образом изменения образа действий или структуры системы приводят к улучшению или ухудшению ее поведения. На модель возлагается задача выявления различных видов внешних возмущений, к которым система чувствительна. Она должна служить руководством в деле повышения эффективности управления.

Однако необходимо особо подчеркнуть, что предсказание *определенных событий* в *определенный будущий момент времени* не входит в задачу модели. Часто ошибочно полагают, что эффективная динамическая модель должна предсказывать конкретное состояние системы в какой-то будущий момент времени[1]. Это может быть желательным, но при оценке эффективности моделей не следует исходить из их способности предсказывать будущие конкретные действия. Такая позиция будет более благоразумной, поскольку имеются достаточные основания считать, что такие предсказания не будут достигнуты в пределах обозримого будущего.

3. 7. Источники информации для построения модели

Многие не признают потенциальной пользы моделей деятельности предприятий, основываясь на том, что у нас нет достаточных данных для моделирования. Они уверены, что первым шагом должен быть широкий сбор статистических сведений. Верно же как раз обратное.

Мы обычно приступаем к делу, уже будучи вооружены достаточной описательной информацией, чтобы начать строить весьма эффективную модель. Нужно начинать именно с моделирования. И одним из первых применений модели должно быть установление того, какие фактические данные следует собирать. Бесспорно, что сбор сведений — операция весьма трудоемкая и, вместе с тем, ценность этих данных гораздо ниже затрат на их получение. В то же время наиболее существенная и легкодоступная информация обычно не выявляется и не используется.

Конторская работа по собиранию цифрового материала едва ли пригодна для выявления новых понятий и неизвестных ранее, но важных переменных. Широкий сбор данных сам по себе не может дать представление об *общем*

[1] Периодическое определение различия между переменными в модели и в реальной системе методом наименьших квадратов предполагает, что модель сможет предсказать конкретную форму системы в будущем.

характере изучаемых переменных. Более того, некоторые наиболее важные источники информации, необходимые для построения динамической модели, вообще не существуют в обычном смысле слова, то есть в виде статистических таблиц.

Каково относительное значение различных переменных? Насколько точной должна быть необходимая информация? Какими будут последствия использования ошибочных данных? На эти вопросы следует ответить прежде, чем затрачивать большие средства и много времени на сбор данных.

Фактически мы постоянно пользуемся моделями фирм и экономических систем на базе данных, имеющихся под рукой. Словесное отображение или описание есть модель; наше мысленное представление о том, как функционирует организация,— тоже модель. Словесная модель и математическая модель очень близки друг к другу. Обе являются абстрактными описаниями реальных систем. Математическая модель более упорядоченна, ибо для нее характерно стремление к устранению неясностей и противоречий, которые могут быть в словесном описании. Математическая модель более «точна». Под точностью подразумевается «конкретность», «четкость», «отсутствие расплывчатости». Математическая модель не обязательно более «правильна», чем словесная, если под правильностью понимать степень соответствия реальному положению вещей. Математическая модель могла бы «точно» представлять наше словесное описание и все же быть совершенно «неправильной».

Ценность математической модели во многом связана с ее «точностью», а не с ее «правильностью». Само построение математической модели заставляет нас быть точными. Оно требует конкретного определения того, что именно мы имеем в виду. Построение модели не связано тем или иным образом с правильностью того, что точно установлено.

Распространенное мнение, будто математическая модель не может быть построена до тех пор, пока не будут полностью известны каждая константа и функциональная зависимость, представляется недоразумением. Оно часто ведет к пренебрежению весьма важными факторами (большинством «неуловимых» влияний, определяющих выбор решения) на том основании, что они не учтены или не поддаются учету. Пренебрежение такими переменными равносильно сведению их влияния на выбор решения к нулю, что является заведомо ошибочным.

При отборе данных и оценке их достоверности надо исходить из особенностей уже обсуждавшихся объектов и целей моделирования.

Если единственно полезной и приемлемой моделью является та, которая полностью объясняет реальную систему и предсказывает ее конкретное состояние в будущем, тогда недостаточно обеспечить точность модели, а нужно, чтобы она была правильной. При отсутствии такой правильности моделирование становится малоэффективным.

Если же задача состоит в том, чтобы углубить понимание изучаемой системы, модель может быть эффективной и в том случае, если она отражает только то, что мы *считаем* сущностью изучаемой системы. Такая модель придает точность нашему мышлению; неопределенность подлежит устранению в процессе построения математической модели; мы получаем возможность решить вопрос об относительной важности различных факторов и обнаружить несоответствия в наших исходных положениях. Нередко оказывается, что наши допущения, касающиеся отдельных компонентов системы, не могут привести к ожидаемым последствиям. Наша словесная модель, будучи преобразована в точную математическую форму, может оказаться не соответствующей *качественной* природе реального мира. Мы можем убедиться, что никакой правдоподобной комбинацией допущений нельзя оправдать наших излюбленных предрассудков. На каждой такой ошибке мы учимся.

Таким образом, мы пользуемся моделью так же, как инженер или военный стратег. Каково было бы положение, если бы реальная система соответствовала нашим отправным допущениям? Какой была бы *предполагаемая* система, если бы мы создавали ее согласно модели? Какие изменения в модели могли бы приблизить ее к характеристикам той существующей системы, которую она призвана отразить? Такие вопросы можно задать по отношению к замкнутой модели (или стремящейся к замкнутой), они особенно важны в том случае, когда речь идет о системе столь сложной, что правильные ответы не могут быть получены путем ее простого рассмотрения.

Модель прежде всего должна иметь структуру, то есть определенный порядок внутренних взаимосвязей. Допущения относительно структуры должны быть сделаны раньше, чем мы начнем собирать данные о реальной системе. Имея структуру, соответствующую нашим описательным знаниям о системе, мы можем

сделать следующий шаг и придать коэффициентам реальные числовые значения, поскольку коэффициенты должны отражать строго определенные характеристики реальной системы. Затем можно приступать к изменениям модели и реальной системы, чтобы ликвидировать их несоответствия и приблизить к желательному уровню эффективности.

Такова позиция руководителя по отношению к словесному описанию, которое он использует в качестве модели управляемой им фирмы. Он стремится уяснить, какое значение имеют для него наблюдаемые факторы, пытается связать отдельные формы поведения и характеристики системы с вытекающими из них следствиями, пробует дать оценку результатам изменения тех частей системы, которые находятся под его управлением.

На определенной ступени детализировки модели для ее приближения к реальной или предполагаемой системе можно использовать саму модель для изучения значения различных допущений, на которых она построена. Для каждого числового значения, по необходимости принятого нами произвольно, существуют известные пределы, между которыми лежит истинное значение величины. Часто приходится наблюдать случаи, когда модель сравнительно нечувствительна к изменениям значений в этих пределах; при этом, по-видимому, нецелесообразно уточнять принятую приблизительную оценку [1].

С другой стороны, общее качественное поведение системы может в значительной мере зависеть от принятых нами численных значений. В этих случаях надо помнить, что принятые допущения представляют некоторый риск При выявлении чувствительности модели к ошибкам в численных значениях коэффициентов нужно выбирать между:

— измерением соответствующих величин с достаточной точностью;

— регулированием установленной величины в требуемых пределах;

— перестройкой системы и модели, чтобы сделать влияние величины менее существенным.

Математическая модель должна основываться на самой достоверной информации, какая только может быть получена в данный момент, но построение модели не следует откладывать до тех пор, пока будут точно измерены все связанные с ней параметры. Так можно ждать бесконечно. Величины следует устанавливать там, где это необходимо, с тем чтобы можно было продвигаться вперед в изучении многих вопросов, а тем временем будет осуществляться сбор данных. Заметим, что достаточная информация имеется в описательных сведениях, накопленных практиками в области управления и экономики, которые могут помочь создателю модели в его первоначальных усилиях. По мере исследования он убедится, что гораздо большую опасность представляет недооценка важных переменных и невнимание к ним, чем недостаток информации, когда он уже выявлен и определен. Специалист, хорошо знающий решающие моменты в динамике системы, может выявить гораздо более полезную информацию, чем получаемая обычно в отчетных данных.

Эти замечания не преследуют цели свести на нет целесообразность использования доступных сведений или проведения измерений, которые представляются оправданными; они лишь подвергают сомнению общепринятое мнение, будто учет фактических данных является первым и самым главным шагом в построении модели. Известное изречение, что «мы понимаем по-настоящему только в той мере, в которой можем измерить», остается полностью в силе. Но, прежде чем измерять, мы должны четко обозначить свой объект, определить его размерность, а чтобы действовать эффективно, нужно иметь известную цель познания. Даже при проведении фундаментальных исследований, в которых поиск информации считается самоцелью, мы все же располагаем ограниченными ресурсами, а потому исследователь должен быть убежден, что его поиск обещает с высокой степенью вероятности дать важные результаты.

Такое отношение к данным, составляющим основу построения модели, некоторыми будет сочтено поверхностным и неприемлемым. Но другим это покажется трезвым и правильным подходом к решению трудной проблемы.

Одно из важных применений модели состоит в исследовании поведения системы вне нормальных исторических границ ее функционирования. Эти границы лежат вне области любых данных, которые могли бы быть накоплены за предыдущий период. При определении реакции отдельных частей системы на новые явления многое зависит от нашего понимания внутреннего характера этих частей. К счастью, это обычно возможно. В самом деле, мы можем с большей уверенностью судить о крайних ограни-

[1] См. рис. 2-6.

чивающих обстоятельствах, определяющих поведение человека, его вероятные решения, а также технологический характер продукции или уровень запасов, чем о том, каковы «нормальные» границы поведения системы в целом. Эти частные ограничительные условия входят в состав наших описательных знаний. Включение же возможных границ всех функциональных взаимоотношений в состав модели позволяет изучить действие системы в более широких пределах. Оно улучшает также отражение моделью нормальных границ, поскольку включение установленных экстремальных значений помогает ограничить и определить многие характеристики системы в нормальных границах ее действия.

Модели, построенные указанным выше способом — исходя из характеристик отдельных составных элементов с включением и оценкой значений всех факторов, которые являются достаточно важными по данным нашего описательного знакомства с системой,— могут дать полезные результаты. Они легко доступны для руководителя-практика, так как основаны на источниках и терминологии, которые знакомы ему из его личного опыта.

Глава 4

ПРИНЦИПЫ ФОРМУЛИРОВКИ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Построению модели предшествует выявление вопросов, на которые надо получить ответы. Модель должна отражать замкнутый контур, свойственный структуре системы. Должны быть правильно представлены запаздывания, усиления и искажения информации. Все константы и переменные в модели могут и должны быть отражениями соответствующих величин и категорий реальной системы. Размерность величин в модели должна быть тщательно согласованной. Предпочтительно начинать с построения модели с детерминированной (нестохастической) структурой решений, а затем включать в нее элементы случайности и периодические колебания. При построении модели не следует предполагать, что система заведомо линейна и устойчива.

Прежде чем углубляться в специфические особенности уравнений и соответствующие математические построения динамической модели, рассмотрим некоторые общие принципы, которыми следует руководствоваться при создании модели промышленно-сбытовой системы.

4. 1. Что включать в модель?

Практически не может быть *единой* модели социальной системы, подобно тому как не существует *единой* модели самолета.

Для испытаний самолета в аэродинамической трубе создаются *несколько* аэродинамических моделей для разных целей плюс макет устройства кабины, модели для имитации максимальных нагрузок и т. д. При разработке динамической модели для имитации фирмы или экономической системы выбор факторов, подлежащих включению в модель, обусловлен непосредственно теми вопросами, на которые должен быть дан ответ.

При отсутствии всеобъемлющей модели должны применяться различные модели для разных категорий вопросов относительно одной и той же системы. И при исследовании каждого нового вопроса соответствующая конкретная модель подлежит изменению и расширению.

Квалификация исследователя, приступающего к использованию модели, тотчас же проверяется тем, насколько существенны вопросы, которые он ставит, имея в виду получить важные ответы. Тривиальные же вопросы могут привести лишь к тривиальным ответам. Вопросы слишком общего характера — например, о том, как добиться наилучших результатов,— непригодны для уточнения направления исследования. Слишком узкие вопросы могут направить исследование в столь ограниченную область, в которой нельзя добиться существенного результата. Наконец, вопросы, вообще не поддающиеся решению, способны породить лишь разочарование.

Вопросы, на которые нужно ответить, определяют содержание модели. Но каким образом? Здесь снова нужна проницательность и трезвость суждений исследователя. Он должен отобрать, основываясь на своем знании существа дела, те факторы, которые ему представляются существенными. Важны навыки и опыт в изучении динамического поведения систем. То, что новичку представляется крайне важным, может на самом деле оказаться совершенно несущественным. Некоторые факторы, которым при статическом анализе уделяется особое внимание, могут вообще не фигурировать в качестве существенных элементов в динамической модели. Факторы, сплошь и рядом опускаемые при статическом анализе и в обычном описательном обсуждении проблемы, могут оказаться решающими. Здесь снова на сцену выступает «искусство» как руководящее начало в правильном использовании инструментария научного исследования. В данный момент мы вынуждены довольствоваться обсуждением общих принципов, но в дальнейшем мы приведем некоторые характерные примеры, которые помогут начинающему исследователю постепенно выработать навыки моделирования.

Поскольку задача состоит в том, чтобы включить в модель факторы, влияющие на искомый ответ, нельзя ограничить базу построения модели какой-либо узкой научной дисциплиной. Мы должны располагать возможностью включать в модель технические, правовые, организационные, экономические, психологические, трудовые, денежные и исторические факторы. Все они должны найти надлежащее место при определении взаимодействий составных частей системы.

При построении количественной модели в нее следует смело включать все те стороны системы, которые имеют, по нашему мнению, существенное значение при словесном описании изучаемых явлений. В прошлом, когда математические модели были ограничены поиском аналитических решений, они не могли охватить весь тот объем представлений, который содержится в нашем описательном знании. Имитирующие модели и вычислительные машины изменили это положение.

Как правило, наиболее важные модели, отвечающие запросам общего хозяйственного руководства, включают от 30 до 3000 переменных. Нижний предел близок к тому минимуму, который отражает основные типы поведения системы, интересующие руководителя; верхний же предел будет в течение некоторого времени ограничивать наши возможности исследования системы и ее существенных взаимосвязей. Уже проведено несколько поисковых исследований на моделях, отражающих процесс развития как в установившихся, так и в неустановившихся условиях и охватывающих до нескольких сотен переменных.

4. 2. Информация в моделях с обратной связью

Экономическая и промышленно-сбытовая деятельность представляет собой замкнутую информационную систему с обратной связью. Модели таких систем должны сохранять замкнутый контур, в условиях которого создается так много интересных моментов в поведении системы.

В информационной системе с обратной связью те или иные явления порождают информацию, которая служит основой для решений, управляющих действиями, направленными на изменение этих явлений. Цикл непрерывен. Мы не можем определенно говорить о каком-то начале или конце цепи. Это замкнутый контур.

Данное общее определение охватывает большинство действий отдельных индивидов, а также проявлений общественной и технической деятельности. Экономический цикл есть одно из проявлений изменяющихся во времени взаимодействий, которые происходят в контурах систем с обратной связью. На уровне отдельной фирмы увеличение продаж, превышающее производственную мощность предприятия, порождает планы расширения производства, что восстанавливает равновесие между спросом и объемом выпуска продукции. Сокращение же сбыта и рост запасов могут вызвать активизацию мероприятий по расширению рынка, чтобы увеличить продажи до уровня производства.

Необходимость совершенствования продукции вызывает затраты на исследования, технический прогресс, развитие конкуренции, порождая потребность в дальнейшем обновлении изделий и в еще более широких исследованиях. Все эти, как и другие решения в области управления, принимаются в рамках информационной системы с обратной связью, когда решение в конечном счете воздействует на среду, которая его вызвала.

Общее представление об информационной системе с обратной связью важно потому, что оно характеризует поведение системы в целом, которое не может быть выяснено рассмотрением отдельных ее частей. Схема взаимосвязей в системе, усиления, вызванные решениями и правилами поведения, запаздывания действий, а также искажения информации — все это, вместе взятое, определяет устойчивость системы и ее развитие [1]. Как мы видели в главе 2, сочетание самых обычных действий фирмы может вызвать колебания в производстве, занятости рабочих и в использовании мощностей. Поскольку одно действие порождает другое и так далее и может вновь вернуться к первому, это порождает неустойчивость, которая характерна для обегающих устройств в регулирующих механизмах. Надо очень тщательно подхо-

[1] Мы здесь не имеем дела с простой категорией сервомеханизма, о котором в технической литературе часто говорится как об обладающем единственной «функцией ошибки» (разность фактических и требуемых результатов) и лишь одним механизмом регулирования. В отличие от этого наши экономические системы характеризуются «функциями распределения ошибки», представленными индивидуальными целями многих участвующих лиц. Функция регулирования также раздроблена и представлена частично в каждом из пунктов решений в структуре системы. Общая теория сервомеханизмов едва ли может быть прямо использована в экономических моделях, но представляет собой вполне надежную основу для ориентации при выборе факторов, подлежащих включению в такие модели.

дить к правильному отражению запаздываний, искажений информации и факторов, определяющих решения.

Временны́е зависимости. Поведение информационных систем с обратной связью тесно связано с временной последовательностью во взаимоотношениях между разными действиями в системе. Запаздывания возникают на каждой стадии деятельности системы — при принятии решений, в процессах транспортировки, при усреднении данных, а также в форме всякого рода запасов и остатков материальных ценностей.

Переменные величины такого рода накоплений должны быть тщательно зафиксированы и представлены в модели, если соответствующие интервалы времени являются существенными. В пу́нктах этих накоплений могут возникать или преднамеренно создаваться запаздывания между темпами потоков на входе и выходе. Основное назначение материальных запасов состоит в некотором разобщении темпов этих потоков во избежание необходимости обеспечить точное соответствие в каждый данный момент между поступлением товаров и темпами их отпуска. Уровень запасов колеблется в зависимости от разности темпов потоков.

Мы должны предусмотреть резервуары в каналах движения информации и заказов совершенно так же, как и в потоках материальных ценностей. Такие резервуары будут включать задолженность по невыполненным заказам, заказы в пути, отправленные почтой, принятые и еще не выполненные решения, собранные и обработанные, но еще не использованные сведения. Резервуары материальных ценностей содержат незавершенное производство, запасы готовой продукции и товары в пути. Резервуары в денежном потоке отражают банковскую наличность и полученные ссуды [1]. Резервуары в потоках людей охватывают всех работающих, различные категории не имеющих работы, а также потребителей и акционеров. Резервуары основных средств включают производственные сооружения и оборудование, разделенные, если нужно, по сроку службы, типу, производительности и долговечности.

Хотя запаздывания очень важны и наши системы не могли бы отразить без запаздываний свойственные им тенденции неустойчивости, тем не менее совершенно неправильно считать, что *все* запаздывания в системе вредны. Также неверно, будто практический путь совершенствования системы всегда состоит в сокращении запаздываний [1].

Метод построения модели и типы используемых уравнений дают возможность отразить запаздывания либо по их средней продолжительности, либо по их текущим значениям, в полном соответствии с тем, как мы представляем себе возникновение запаздываний на практике [2]. Ни интервал решений в уравнениях, образующих модель, ни интервалы, в течение которых может быть выполнен сбор данных в реальной системе, не должны играть определяющей роли при установлении запаздываний в модели.

Усиление. Усиление — самое важное свойство, определяющее поведение информационных систем с обратной связью. Термин «усиление» используется здесь не в качестве технического, а подразумевает бо́льшую реакцию той или иной части системы, чем это оправдывается на первый взгляд вызвавшими ее причинами. Например, мы часто наблюдаем, что колебания темпов производства на заводе значительно превосходят величину изменений в темпах розничных продаж.

Усиление встречается во многих областях рассматриваемой социальной системы. Оно возникает, как это будет показано ниже, как результат определенных правил принятия решений, регулирующих темпы потоков. Образ действий и результирующие решения должны быть тщательно изучены, поскольку они являются источником усиления в социальных системах.

Усиление возникает во многих местах. Заказы на товары не только воспроизводят темп продаж: в дополнение к этому выдаются заказы для увеличения товарных запасов, для заполнения каналов товародвижения и для спекуляции. Усиление возникает при использовании многих методов прогнозирования и предвидения, например когда экстраполяция прежнего роста темпов ведет к чрезмерным капиталовложениям для увеличения производственных мощностей. Усиление вызывается также тенден-

[1] Во многих случаях они будут рассматриваться скорее как информация, чем как деньги. Счета к получению и к оплате, а также счета, расчеты по приобретению и амортизации основных средств обычно не представляют собой денег в смысле потока денежных знаков и обыкновенно фигурируют в каналах информационных потоков.

[1] См. рис. 2-6, где увеличение запаздывания при регулировании запасов уменьшает колебания в объеме производства.

[2] См. главу 8.

цией заказывать заблаговременно в случаях замедления поставок [1]. Выдача заказов на будущее время в периоды повышения цен и задержка заказов при их снижении тоже порождают явления усиления. Все это имеет важнейшее значение в отражении факторов, регулирующих развитие и устойчивость промышленно-сбытовой системы.

Искажение информации. Информация является вводом для принятия решений, и потому решения подвержены влиянию всех факторов, которые воздействуют на потоки информации. Она может быть искажена не только запаздываниями и усилением. Информация изменяется при усреднениях и суммировании сведений об отдельных операциях для получения сводных данных, используемых руководством при принятии решения. Информация по-разному интерпретируется различными людьми и организациями. Предубеждения, прежний опыт, добросовестность, надежды и внутренняя обстановка организации — все это ведет к нарушениям потоков информации. Информация содержит в себе ошибки и случайные шумы, а также невыявленные возмущения, источники которых лежат вне системы.

Так как информация является своего рода сырьем при выработке решений, ее искажение должно учитываться в модели, чтобы правильно представить принятие решений. Особое внимание следует уделить тому, какая информация практически доступна и применяется в каждом пункте системы, потому что значительная часть информации недоступна, а немалая ее доля, практически доступная, не используется, причем часто применяется не наиболее полезная информация.

4. 3. Соответствие между переменными в модели и реальной системе

При правильном построении динамической имитирующей модели ее переменные должны соответствовать переменным отражаемой системы. Переменные в модели должны измеряться в тех же единицах, что и реальные переменные. На первый взгляд это может показаться очевидным и элементарным, но данный принцип чаще всего нарушается при построении моделей.

Достаточно полное соответствие между переменными модели и реальной системы достигается только при строгой и многократной проверке, насколько адекватно представлены функциями решений действительно существующие в системе правила принятия решений.

Потоки товаров должны измеряться натуральными, а не денежными единицами. Потоки денежных средств следует выделять особо. Цены связывают те и другие показатели. Товары не могут быть представлены в виде соответствующей суммы денег, иначе мы не уловим значения цен и того факта, что движение денег не синхронно движению товаров (как правило, первое происходит с некоторым запаздыванием по отношению ко второму). Заказы на товары не суть товары, товары отгруженные не равнозначны счетам к получению, а последние вовсе не то же самое, что деньги. Мы иногда встречаем системы уравнений, основанные на стоимостных показателях, как будто холодильники изготовляются из банкнот, а не создаются трудом *из* материалов *при* помощи уже имеющихся орудий производства. Сосредоточение внимания на денежном потоке с применением денежных эквивалентов труда и материалов (при полном упущении информации как самостоятельной величины) во многих попытках анализа промышленно-сбытовых систем искажало их характер.

Между фактическими переменными реальной системы существуют определенные взаимосвязи временной последовательности. Они должны быть представлены в нашем анализе, поскольку в нем надо отобразить истинное динамическое поведение информационной системы с обратной связью. Например, спрос (информация) ведет к сокращению запасов, что вызывает строительство (поток материалов и труда), которое увеличивает производственную мощность (средства производства), а это в свою очередь требует увеличения амортизационных отчислений (денежный поток).

Мы должны различать «фактические» и «требуемые» количества, а также «истинные» значения переменной в отличие от тех, которые доступная информация дает нам как «зафиксированные» ее значения.

В модели экономической системы следует использовать фактические цены, выраженные в деньгах, а не приведенные, то есть умноженные на некоторый индекс. Фактические цены и их колебания вызывают важные психологические последствия, например при установлении величины заработной платы. Изменения цен не вызывали бы иллюзий, если бы цены определялись в долларах постоянной покупательной способности.

[1] Как это видно на рис. 2-4.

Во многих моделях придется иметь дело в отдельности с продолжительностью рабочей недели, численностью работающих, часовой производительностью труда и часовой ставкой заработной платы; причем все эти величины могут быть взаимодействующими переменными в системе. Каждой из них присущи свои нелинейности и ограничения, которые должны учитываться при принятии решений об изменениях объема производства.

Усилия, направленные на достижение соответствия между переменными модели и реальной системы, будут вознаграждены во многих отношениях. Особенно важные запаздывания создаются в системе в пунктах встречи потоков, как-то: потоков заказов и товаров, рабочей силы и результатов исследований, планов и производства. Чем в большей степени переменные модели соответствуют реальным условиям, тем шире возможности непосредственного использования обширного багажа наших описательных знаний. Четкость отражения переменных реальной системы сделает нас более чувствительными к тем взаимосвязям между ними, которые должны быть учтены в модели.

4. 4. Единицы измерения в уравнениях

При составлении уравнений особое внимание следует уделять правильной размерности для каждого из членов уравнения. Размерный анализ играет важную роль в правильном составлении уравнений в технических и естественных науках. Несовместимость (противоречивость) единиц измерения часто свидетельствует о неверном составлении уравнения. Размерность всех переменных и констант следует точно установить и проверять на совместимость в каждом применяемом уравнении. Невнимательность к этой стороне дела нередко может привести к недопустимой путанице.

Особо следует предостеречь против произвольного введения в уравнения коэффициентов, предназначенных *только* для того, чтобы соблюсти размерность. Каждый коэффициент должен появляться в уравнении лишь тогда, когда он имеет самостоятельный смысл, только после этого надо проверять размерность членов уравнения на их совместимость. Построение модели должно быть объектом проверки, пока не будет доказано, что каждый коэффициент и применяемые единицы измерения могут быть обоснованы по их индивидуальному смыслу и что они выражены в такой форме, при которой соответствующие конкретные величины могут рассматриваться в органической связи со всей практикой промышленно-сбытовой деятельности, которую отображает данное уравнение. Все сказанное может показаться весьма простым и очевидным, но для начинающего здесь скрыта одна из самых коварных ловушек.

4. 5. Непрерывные потоки

При построении модели промышленно-сбытовой системы мы предполагаем, что ее основой — по крайней мере вначале — являются непрерывные потоки и взаимодействия переменных [1]. Дискретность событий может быть учтена при анализе информационных систем с обратной связью, но необходимо быть начеку в отношении возможности ненужного загромождения нашей модели деталями отдельных событий, что только затемняет динамичность и непрерывность, проявляемые промышленно-сбытовыми системами.

На первых стадиях решения следует формулировать модели так, как если бы в них имела место непрерывная (но не обязательно мгновенная) реакция на те факторы, которые лежат в ее основе. Это означает, что решения не предусматривают последующих пересмотров или коррективов каждую неделю, месяц или год. Например, производственная мощность предприятия изменяется непрерывно, а не путем дискретных расширений. Выдача заказов происходит непрерывно, а не однажды в месяц — после инвентаризации наличных запасов.

Есть основания начинать анализ с построения непрерывной модели по следующим мотивам:

— Реальные системы гораздо ближе к непрерывным, чем обычно полагают. Можно составить годовой бюджет расходов предприятия, но под влиянием новых условий в него придется вносить коррективы. Даже заключению отдельного договора, которое может показаться дискретным шагом, обычно предшествует период переговоров с непрерывно возрастающим ожиданием заключения соглашения и принятием мер по подготовке к выполнению вытекающих из него обязательств. Подписание договора сопровождается дальнейшими действиями по его отражению в текущих планах. Что касается производственных мощностей, то

[1] Здесь понятия «непрерывные» и «прерывные» относятся не к обычному различию между дифференциальными и разностными уравнениями, а к существу словесного описания отображаемых явлений.

функционирующее предприятие будет добиваться их постепенного наращивания еще в период ожидания нового оборудования; с помощью мер временного характера можно восполнить недостаток пропускной способности, а с вводом нового оборудования постепенно начнет увеличиваться объем выпускаемой продукции, которая полностью может вначале и не потребоваться. Даже решения хозяйственного руководства являются до некоторой степени непрерывным процессом; они принимаются после предварительного обсуждения; при этом могут осуществляться соответствующие меры в предвидении вероятного исхода этого обсуждения; реализация же принятых решений не происходит немедленно вслед за их утверждением; кроме того, принятые решения подлежат истолкованию и разъяснению; они осуществляются поэтапно в меру преодоления сопротивления и инерции других работников предприятия.

— В наших моделях часто будет применяться значительное агрегирование (то есть группировка отдельных событий по классам или видам). Заказы поступают в виде отдельных документов, но мы представляем их в виде непрерывного потока требований, и наша заинтересованность в модели, как и руководителя соответствующей фирмы, выходит за пределы отдельных частных сделок.

— Система с непрерывными потоками обычно может служить эффективным первым приближением даже в тех случаях, когда речь идет о повторных, но дискретных решениях и действиях. Она дает удобную отправную точку для последующих уточнений реального хода действий, если их отражение представляется необходимым.

— Существует естественная склонность исследователей моделей и руководящего персонала преувеличивать дискретность реальных ситуаций. Это частично компенсируется подчеркиванием непрерывности изменений, свойственной всем потокам в системе.

— Модель с непрерывными потоками способствует концентрации внимания на центральных моментах системы. Структура этих потоков более упорядочена и неизменна, чем обычно полагают. Отвлечение внимания на отдельные изолированные события затемняет центральный костяк системы, который мы пытаемся выявить.

— Динамика модели с непрерывными потоками обычно более легка для понимания в качестве исходного пункта и должна быть изучена прежде, чем будут введены усложнения, связанные с дискретностью и шумами. По этой причине представляется предпочтительным начать с непрерывного представления системы, а не со стохастической модели (где каждое решение опирается на случайный выбор из ряда значений, заданных вероятностными распределениями). Шумы (случайные возмущения) могут впоследствии быть добавлены к функции решений в уравнениях. Очень часто эти шумы воздействуют на систему аналогично дискретной выработке решений в отдельные моменты времени.

— Дискретная модель, построенная на больших интервалах, подобно экономической модели, в которой новые значения определяются раз в год, вообще не поддавалась бы проверке при столь больших промежутках времени между сборами сведений в реальной системе. Модель должна отображать непрерывно взаимодействующие силы изучаемой системы [1]. Частота измерений в реальной системе не имеет отношения к частоте, с которой необходимо исчислять внутренние динамические связи [2].

Эти комментарии не следует понимать в том смысле, что проектировщик модели может игнорировать отдельные «микроскопические» события, происходящие в каналах непрерывных потоков. Движение непрерывного потока — это движение отдельных событий, изучая которые мы получаем представление о том, как принимаются решения и создаются запаздывания в потоках. Изучение отдельных событий представляет собой один из богатейших источников информации о том, как следует строить каналы потоков в модели. Когда решения практически принимаются регулярно с некоторой периодичностью, например один раз в месяц, канал эквивалентного непрерывного потока должен включать запаздывание, равное половине этого интервала; таким образом выражается среднее запаздывание, которому подвергается информация в канале.

Вышеприведенные замечания не означают также, что дискретность трудно отразить или

[1] Мы не можем также быть уверенными в том, что длительные и кратковременные явления поддаются разграничению в моделях разного характера, что позволило бы определять длительно действующие факторы роста для сравнительно больших интервалов времени. В нелинейной системе отдельные явления могут и не накладываться одно на другое, а долговременные характеристики могут зависеть от природы накладываемых одно на другое кратковременных колебаний.

[2] Теория сервомеханизмов, построенных на принципе проб и ошибок, имеет дело с допустимыми интервалами времени между решениями в связи с характеристикой поля допуска в системе.

что она должна быть навсегда исключена из модели. Иногда дискретность становится весьма существенной. Она может, например, вызвать возмущение, которое отразится на колебаниях системы, а последние могут быть ошибочно истолкованы как цикличность, обусловленная внешними причинами (подобно ежегодному пересмотру конструкций, летним отпускам работников или составлению годовых бюджетных планов, которые вызывают последствия, аналогичные сезонным изменениям в покупательском спросе). Когда моделирование продвинулось настолько, что становятся оправданными такие тонкости, как основания предполагать, что дискретность оказывает значительное влияние на поведение системы, прерывные переменные подлежат исследованию для выявления их воздействия на модель.

4. 6. Устойчивость и линейность

При построении модели не следует основывать свои действия на допущении, будто отображаемая система обязательно будет устойчивой [1]. Многие модели, описанные в литературе по управлению и экономике, исходят из линейности отображаемой системы. Но в таких случаях, если быть последовательным, необходимо допустить также и ее устойчивый характер. Это исключает изучение класса систем, которые являются весьма важными в народном хозяйстве — в частности, в промышленности и торговле,— систем, ограниченных нелинейными воздействиями и устойчивых только при больших амплитудах возмущений.

[1] Под устойчивостью понимается стремление к состоянию равновесия либо в условиях полного отсутствия колебаний, либо в условиях затухающих колебаний.

Имеются достаточные основания считать, что среди существующих реальных систем некоторые неустойчивы в обычном математическом понимании. Они не стремятся к состоянию статического равновесия (даже при отсутствии случайностей и внешнего возмущения). Они неустойчивы и обнаруживают стремление к увеличению амплитуды колебаний, которые поддерживаются непрерывными изменениями соотношения сил между нелинейными формами в системе. Наши социальные системы в высшей степени нелинейны и бóльшую часть времени противодействуют ограничениям, связанным с недостатком рабочей силы и неприемлемой в политическом отношении безработицей, сокращением денежных ресурсов и преодолением инфляции, спадом деловой активности и недостатком средств производства. По-видимому, такие нелинейности в сочетании с тенденциями неустойчивости, порожденной усилениями и запаздываниями, создают характерный образ действий, который мы наблюдаем в экономических системах свободного предпринимательства.

Линейный анализ «малых сигналов» не пригоден для нелинейных неустойчивых систем. Такой анализ небольших нарушений равновесия по необходимости предполагает статическое равновесие и систему, которая стремится возвратиться к этому состоянию. Между тем результаты работы с динамическими моделями, а равно и наблюдаемое поведение реальных систем, приводят к заключению, что важные их проявления часто имеют нелинейный характер и относятся к типу «больших сигналов».

При построении модели, предполагающем устойчивость системы, из рассмотрения могут выпасть некоторые наиболее интересные и важные характеристики системы.

Глава 5

СТРУКТУРА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ

Базовая структура, состоящая из переменных уровней и темпов потоков, отражает существо систем управления промышленным предприятием. Уровни определяют решения, которые управляют темпами потоков. Темпы потоков в свою очередь являются причиной изменений в уровнях. Уровни и темпы составляют шесть взаимосвязанных потоков, которые отражают деятельность промышленного предприятия. Пять из них — это потоки материалов, заказов, денежных средств, оборудования и рабочей силы. Шестой — информационный поток, является соединительной тканью пяти других потоков.

Теперь мы можем перейти к рассмотрению образца структуры модели, который соответствует задачам и принципам, изложенным в общих чертах в предыдущих главах. Для этого достаточно рассмотреть структуру простейшей модели. В частных случаях модель может стать сложной в силу своей величины и обилия деталей, но, как это будет показано в данной главе, основой ее по-прежнему останутся такие переменные, как «уровни» и «решения».

Форма модели должна позволить решать несколько задач. В связи с этим модель должна обладать следующими характерными чертами:

— иметь возможность отражать любую причинно-следственную связь, которую мы захотим учесть;

— иметь простую математическую форму;

— использовать терминологию, синонимичную языку общественных наук, экономики и производства;

— охватывать большое число переменных (тысячи), не превышая, однако, практических возможностей вычислительных машин, и

— быть пригодной для отражения «непрерывных» взаимодействий, с тем чтобы дискретные величины, вводимые в интервале времени между решениями, не оказывали влияния на результаты. Однако модель должна позволить произвести, если понадобится, дискретные изменения в решениях.

5. 1. Базовая структура

Указанным выше требованиям удовлетворяет динамическая структура, состоящая из резервуаров или уровней, связанных между собой управляемыми потоками, как показано на рис. 5-1.

Рис. 5-1 содержит четыре существенных элемента, которые ниже будут рассмотрены раздельно:

— несколько *уровней*;

— потоки, перемещающие содержимое одного уровня к другому;

— функции решений (изображенные в виде вентилей), которые регулируют *темпы* потока между уровнями;

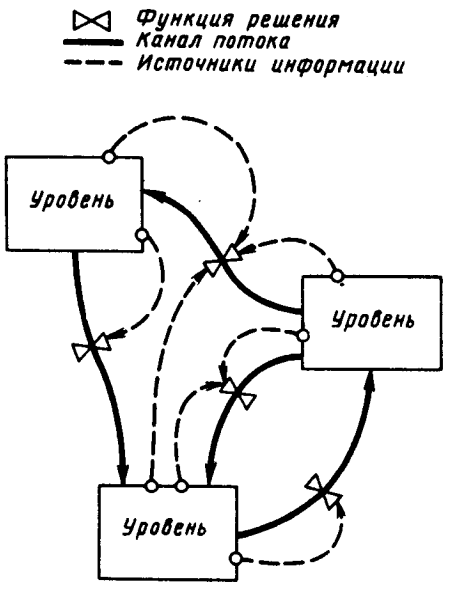
— каналы информации, соединяющие функции решений с уровнями.

Эта базовая структура будет использована здесь даже применительно к промышленным и экономическим моделям, кажущимся на первый взгляд значительно более сложными. Если читатель получит ясное представление об этой структуре и о соответствующих ей основных уравнениях из последующей главы, он не встретит никаких трудностей при переходе и к более сложным моделям. В каждом отдельном случае более сложные системы будут, однако, состоять из четырех приведенных выше элементов основной структуры, показанной на рис. 5-1. В последующих параграфах будут рассмотрены все четыре элемента основной структуры модели.

Уровни. Уровни характеризуют возникающие накопления внутри системы. Это товары, имеющиеся на складе, товары в пути, банковская наличность, производственные площади и численность работающих. Уровни представляют собой те значения переменных в данный момент, которые они имеют в результате накопления из-за

разности между входящими и исходящими потоками [1]. Уровни имеют место во всех шести потоках, которые будут рассмотрены ниже: информации, материалов, заказов, денежных средств, рабочей силы и оборудования.

Очень важно отметить, что по единице измерения переменных еще нельзя судить, имеем ли мы дело с уровнем или с темпом, так как некоторые уровни измеряются такими же количественными показателями, что и темпы (например, единицы в неделю). Это может приводить к путанице, пока не будет выяснено основное различие между уровнями и темпами.



Р и с. 5-1. Базовая структура модели.

Надежным способом определения, является ли переменная уровнем или темпом потока, служит выяснение вопроса о том, может ли переменная существовать и иметь определенное значение в системе, приведенной в состояние покоя. Если всякое движение в форме потоков было бы прекращено, уровни все равно остались бы. Так, например, при прекращении поступления и отправки товаров на складе сохраняется определенный уровень их запасов. Если бы вся деятельность в системе остановилась, то темпы были бы неразличимы, а уровни физических величин, таких, как товары, денежные средства и рабочая сила, могли бы быть определены и в неподвижной системе.

Уровни существуют не только в сетях физических величин, но и в информационной сети. «Уровни осведомленности» существенны при мысленной оценке, влияющей на выбор решения. Уровни удовлетворения, оптимизма и воспоминаний о пагубной депрессии в прошлом — все они влияют на экономическое поведение. Уровень осведомленности об инфляционных тенденциях оказывает влияние на капиталовложения. В более прозаическом примере уровень современной деловой активности влияет на решения о размещении заказов и создании запасов. Вся память и преемственность между прошлым и будущим воплощается в уровнях системы.

В информационной сети мы вероятнее всего можем встретить уровни, имеющие единицы измерения, которые обычно характерны для темпов. Возьмем, например, *средний уровень* сбыта за прошлый год. Он может измеряться объемом за месяц или долларами за год. Однако это не темп потока, характеризующий мгновенную скорость передачи от одного какого-либо уровня к другому. При тенденции постоянного роста средний темп сбыта, определенный в любой данный момент, никогда не будет равен фактическому текущему темпу сбыта в тот же самый момент. О средней величине сбыта в деловой практике часто говорят как об уровне — уровне сбыта или уровне деловой активности. Средний *уровень* сбыта определяется путем интегрирования мгновенных фактических *темпов* сбыта за некоторый период времени, например за год; поэтому он описывается математическими уравнениями такой же формы, как и другие уровни в системе. Приведя систему в состояние покоя, мы увидим, что средняя величина сбыта за прошлый год представляет собой уровень. Мы можем в данный момент прекратить всю деятельность по сбыту и доставке товаров, не нарушая понятия и количественного значения средней величины сбыта за прошлый год.

Темп потока. Из предшествующего обсуждения вопроса об уровнях становится ясной природа темпов потока. Темпы определяют *существующие* мгновенные потоки между уровнями в системе. Темп отражает *активность*, в то время как уровни измеряют *состояние*, которое является результатом активности в системе. Темпы точно так же, как и уровни, существуют во всех шести сетях, которые могут составлять систему — материалов, заказов, денежных средств, рабочей силы, оборудования и информации.

[1] Уровни являются интегралами по времени темпов потоков данной сети. Уровень может иметь несколько каналов входящих и исходящих потоков.

Темпы потока устанавливаются на основе уровней в соответствии с законами, которые определяют вид функций решений. В свою очередь темпы определяют уровни. В состав уровней, которыми определяется темп потока, обычно входит и тот уровень, из которого исходит данный поток.

Функции решений. Функции решений (в последующем изложении называемые иногда уравнениями темпов) представляют собой формулировку линии поведения, определяющую, каким образом имеющаяся информация об уровнях приводит к выбору решений, связанных с величинами текущих темпов. Все решения касаются предстоящих действий и выражаются в форме темпов потока (выдачи заказов, приобретения оборудования, найма рабочей силы). Как будет показано в разделе 9.4, функции решений имеют отношение как к решениям, принимаемым в процессе управления, так и к таким действиям, которые обусловлены естественным состоянием системы.

Функция решения может иметь форму несложного уравнения, которое определяет простейшую реакцию потока на состояние одного или двух уровней (так, производительность транспортной системы часто может быть адекватно выражена количеством товаров в пути, представляющим собой уровень, и константой — средним запаздыванием на время транспортировки). С другой стороны, функция решения может представлять собой длинную и детально разработанную цепь вычислений, выполняемых с учетом изменения ряда дополнительных условий. Так, например, решение о найме рабочей силы может быть связано с учетом следующих уровней: имеющейся рабочей силы, среднего темпа поступления заказов, числа работников, проходящих курс обучения, числа вновь принятых работников, задолженности по невыполненным заказам, уровней запасов, наличия оборудования и материалов и т. д.

Информация как основа решений. На рис. 5-1 показано, что функции решений, на основе которых устанавливаются темпы, связаны только с информацией об уровнях. Темпы не определяются другими темпами. Это в принципе всегда верно [1].

В принципе использование мгновенных, сложившихся в данный момент, темпов в качестве вводов при выработке других решений недопустимо. Практически существующие в данный момент темпы вообще неизмеримы. Если мы существенно сократим тот интервал времени, под которым мы понимаем «данный момент времени», мы ничего не будем знать о темпах любых действий, осуществляемых в это же самое время. Например, мы не в состоянии знать темп сбыта в нашей фирме именно в этот момент; практически это было бы для нас неосуществимо из-за постоянных кратковременных колебаний этой величины. То, что мы понимаем под темпами «в данный момент», есть на самом деле средние уровни, вроде среднего сбыта за неделю или месяц, или за прошлый год.

Выбирая весьма короткий интервал времени, мы можем установить в принципе, что данное решение не может зависеть от некоторых других принимаемых *в данный момент* решений (или мгновенных темпов) в другой части системы. Эта другая совокупность решений может зависеть от тех же самых уровней на входе. Решение о найме дополнительного числа работников нью-йоркской фирмой принимается независимо от аналогичного решения, принимаемого в тот же момент конкурирующей фирмой в Чикаго. Оба эти решения в конечном счете определяются итоговыми уровнями, такими, как действительная численность безработных и наличие запасов нереализованной продукции [1].

Принцип независимости решений применим на практике; он служит краеугольным камнем построения модели. Из этого принципа не вытекает необходимость чрезмерного сокращения интервалов времени, для которых производятся расчеты в модели. Он делает возможным построение моделей, не требующих трудоемких вычислений, связанных с обращением матриц.

5. 2. Шесть взаимосвязанных сетей

Базовая структура модели на рис. 5-1 показывает только одну сеть с элементарной схемой информационных связей между уровнями и темпами. Чтобы отразить деятельность промышленного предприятия, необходимы несколько взаимосвязанных сетей.

[1] Иногда составитель модели может ради упрощения позволить себе некоторый отход от данного принципа, допуская использование мгновенного темпа вместо среднего уровня, исчисленного для очень короткого интервала времени.

[1] Как и в реальной действительности, уравнения темпов производства и потребления в модели не обязательно должны быть одинаковы в один и тот же момент времени. Они складываются независимо и отдельно одно от другого, но взаимодействуют во времени посредством того воздействия, которое они по отдельности оказывают на запасы, представляющие собой входящий уровень как для *желания* производить, так и для реальной *возможности* покупать.

Следует отметить, что потоки на рис. 5-1 переносят содержимое от одного уровня к другому. Поэтому все уровни внутри одной сети должны иметь однородное содержимое. Входящие и исходящие потоки, связанные с уровнем, должны переносить предметы того же самого вида, что и содержащиеся в уровне. Например, в материальной сети мы будем иметь дело только с материалами и учитывать их перемещение из одного места в другое. Предметы одного вида не должны передаваться к уровням, содержащим другой вид.

Целесообразно установить шесть сетей, представляющих существенно различные типы переменных, с которыми нам придется встречаться,— заказов, материалов, денежных средств, рабочей силы и оборудования, соединенных воедино с помощью сети информации. Разделение именно на шесть сетей произвольно. Любая из этих сетей может быть разбита на несколько отдельных частей; *тип* материала в разных частях материальной сети может быть различным: материалы разного типа, если рассматривать вопрос с точки зрения наших целей, не должны смешиваться; поэтому уровни в одной части сети не могут быть связаны через посредство потоков с уровнями из другой части.

Информационная сеть может идти от уровня в любой из шести сетей к темпу в той же или другой сети. Поэтому сеть информации является единственной в своем роде и занимает особое положение по отношению к другим пяти, в противоположность тому особому положению, которое раньше часто занимали деньги при проведении экономического анализа. Мы должны подчеркнуть, что понятие денег не содержит в себе того значения, которое дало бы возможность использовать их для достижения намеченных нами целей, как это выполняется с помощью особой информационной сети.

Сеть материалов. Сюда мы включаем все темпы потоков и запасы реальных предметов (товаров), будь то сырье, незавершенное производство или готовая продукция.

Сеть заказов. Сюда входят заказы на товары, требования на новую рабочую силу и контракты на новую производственную площадь. Заказы представляют собой результат решений, которые не нашли своего отражения в потоках одной из других сетей. Вообще говоря, они образуют связующее звено между явными решениями [1] и результатами в форме неявных решений в сетях материалов, денежных средств, рабочей силы и оборудования.

Заказы иногда трудно отличить от величин, входящих в информационную сеть. Однако заказы имеют обычно достаточно характерные особенности, так что, по-видимому, за их опознание можно ручаться. Сеть заказов будет обычно состоять из отрезков, соединяющих решение о выдаче заказа с действием, направленным на его выполнение.

Сеть денежных средств. Денежные средства здесь понимаются в смысле кассовой наличности. Поток этих средств есть фактическое движение платежей между денежными уровнями.

С точки зрения моделирования действий фирмы банковская наличность представляет собой денежный уровень. Счета к получению не следует считать денежными средствами, даже если они могут быть реализованы как товары; они могут быть переданы по информационной сети как свидетельство о праве на оплату. Цена есть также информация, а не часть денежной сети.

В точке выполнения заказов создаются три потока. Первый — выполненных заказов, уменьшающий задолженность по заказам. Второй — реальных товаров от поставщика к покупателю. Третий — информация о счетах к получению, представляющих собой произведение цены на темп потока товаров. *Уровень* счетов к получению вместе с запаздыванием на время оформления документов определяют *темп* потока денег, поступающих с банковского счета покупателя к поставщику. Этот поток увеличивает уровень банковского счета поставщика, а информация о его темпе уменьшает уровень счетов к получению.

Различные точки зрения могут привести к различной трактовке информации и денежных средств. Банковский счет, трактуемый фирмой как денежный уровень, для банка представляет счет, который может быть оплачен. Счет не содержит денежных средств, но является информацией, определяющей право фирмы изъять определенную сумму. Вопросы отображения денежных средств, кредита и информации потребуют более тщательного рассмотрения в том случае, если в динамическую модель будут включены детали банковской и государственной денежной системы.

Сеть рабочей силы. Многие важные результаты в деятельности компании являются следствием политики в вопросах найма и использования людей. Политика компании, соглашения с профсоюзами и предложение рабочей силы составляют базу для изменений в уровнях числен-

[1] Определение явных и неявных решений дается в разделе 9.4.

ности работников. Выбор моментов времени для таких изменений может из-за взаимодействия между подразделениями фирмы привести к неожиданным результатам. В главах 14 и 15 дается пример того, как в результате взаимодействия политики предпринимателя в трудовых вопросах с политикой покупателей при размещении заказов возникает неустойчивость в работе предприятия.

В сети рабочей силы мы имеем дело с определенным числом людей как индивидуумов, а не с количеством человеко-часов труда. Количество человеко-часов в неделю представляет собой произведение численности людей на продолжительность рабочей недели. Соображения, которые регулируют изменение численности людей, отличны от тех, которые ограничивают продолжительность рабочей недели. В большинстве случаев нам будет необходимо отличать численность людей в сети рабочей силы от таких переменных, как продолжительность рабочей недели и производительность за человеко-час, которые рассматриваются в информационной сети.

Сеть оборудования. Сеть оборудования включает производственную площадь, инструмент и оборудование, необходимые для производства товаров. Она показывает, как функционируют заводы и машины, каково имеющееся оборудование, какая часть этого оборудования находится в данный момент в эксплуатации (это необходимо знать для определения уровня производительности), а также каков темп выхода орудий производства из строя.

Следует отметить, что в отраслях, производящих средства производства, выпуск оборудования является результатом, в числе прочих факторов, потока материалов, который использован для изготовления соответствующих изделий с помощью оборудования. Производитель оборудования имеет свой парк оборудования, которое используется в производственном процессе.

Связующая сеть информации. Информационная сеть представляет собой последовательность переменных темпов и уровней. В этой книге она поставлена в особое положение по отношению к другим сетям в связи с тем, что она служит для них соединительной тканью.

В общем случае информационная сеть начинается от уровней и темпов в пяти других сетях и заканчивается у функций решений, определяющих темпы в этих сетях. Она переносит информацию от уровня к точкам решений, а также информацию о темпах в других сетях к уровням в сети информации. В самой сети информации существуют уровни и темпы. Например, *информация* о фактическом текущем *темпе* входящих заказов усредняется для определения *уровня* среднего темпа входящих заказов. Этот уровень относится к сети информации и будет обычно одним из вводов при решении о выдаче заказа в сети заказов.

Величину информационной переменной не следует смешивать с истинной переменной, которую она отображает. *Заказы* обычно направляются в картотеку невыполненных заказов; *информация* об уровне среднего темпа заказов и об уровне невыполненных заказов может направляться во многие адреса (места, пункты) внутри фирмы. Информация, так же как и потоки в других пяти сетях, будет часто запаздывать. Как уже отмечалось в разделе 4.2, информация может содержать помехи и искажения. Информация не обязательно идентична по величине «истинной» переменной, которую она отображает.

Сеть информации будет содержать группу различных понятий, являющихся вводами при выработке решений, связанных, например, с требуемым уровнем запасов, с необходимыми размерами проектируемого предприятия, с прогнозом сбыта, с необходимым уровнем числа работников и со сведениями о результатах исследований.

Основная часть модели будет находиться внутри информационной сети. Информация представляет собой основу для принятия решения. Она является тем соединяющим элементом, который заставляет взаимодействовать остальные пять сетей. Во многих экономических моделях и в нашем отношении к учету часто проявляется стремление представить в этой центральной связующей роли денежные средства. Однако, как уже отмечалось выше, сеть денежных средств не обеспечивает соответствующие вводы, необходимые для выработки решений в области практического руководства и экономики. Денежная сеть отражает совокупность совершенных ранее сделок и действует в качестве ограничения, налагаемого на будущие решения, но не оказывает существенной помощи при выработке этих решений.

Тщательное наблюдение за информационной сетью организации важно для понимания ее истинного характера. Ее динамика не может быть отображена без детального рассмотрения потоков, уровней, запаздываний и искажений, которые имеют место в каналах информации внутри отдельных организационных подразделений.

Глава 6

СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ

Структура модели, описанная в главе 5, соответствует простой системе уравнений, достаточной для описания информационных систем с обратной связью. Эти уравнения показывают, каким образом можно определить условия в системе в очередной момент времени, если известны условия для предшествующего момента. В результате вычислений получается система последовательных решений, равномерно распределенных во времени. Уравнения уровней и уравнения темпов определяют уровни и темпы в базовой структуре модели. Кроме того, используются вспомогательные и дополнительные уравнения и уравнения начальных условий. Интервал времени между решениями, определяемый динамическими характеристиками реальной моделируемой системы, должен быть относительно коротким. Для определения уровней достаточно интегрирования уравнений первого порядка.

В предыдущей главе была рассмотрена базовая структура модели, состоящая из уровней и темпов потоков. Для описания этой общей структуры необходима система уравнений, удовлетворяющая пяти требованиям, перечисленным в начале главы 5.

Система уравнений должна соответствовать обстановке и взаимодействиям всех элементов моделируемой системы и процессам выработки решений. Модель должна достаточно полно отражать наши представления о реальной системе. Нет нужды в чрезмерном упрощении этих представлений ради того, чтобы вместить их в рамки структуры модели.

Уравнения, которые здесь будут описаны, образуют основную систему, разработанную в соответствии с уже описанной структурой модели. В этой главе рассматриваются основные классы уравнений, а не особые формы, которые могут принимать отдельные уравнения.

В основном система уравнений состоит из уравнений двух типов, соответствующих уровням и темпам, о которых шла речь в предыдущих главах. В следующем разделе будут дополнительно введены другие типы уравнений, что позволит более наглядно отразить сложные системы; однако эти уравнения при рассмотрении модели не являются основными. Прежде чем перейти непосредственно к уравнениям, рассмотрим вопрос о последовательности вычислений.

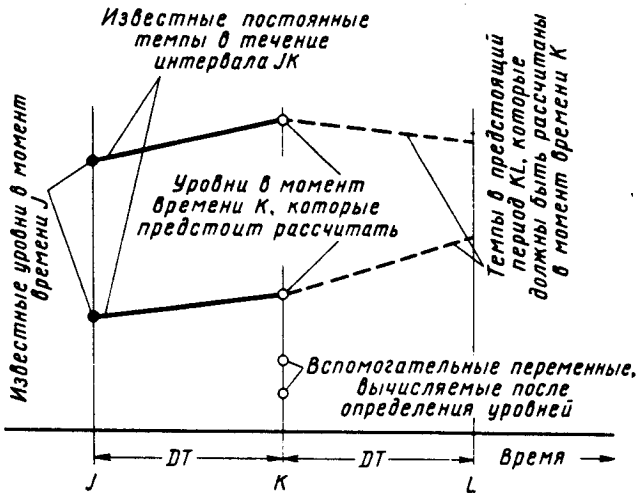
6. 1. Последовательность вычислений

Система уравнений записывается вместе с определенными условиями, устанавливающими способ ее решения. Здесь мы будем иметь дело с системой уравнений, которые регулируют изменяющиеся во времени взаимодействия сети переменных. Эта изменчивость предопределяет необходимость периодически решать уравнения для нахождения новых состояний системы.

Для каждого момента времени может существовать специфическая последовательность вычислений, определяемая характером системы уравнений. Последовательность, которая будет использована в данном случае, показана на рис. 6-1, где по оси абсцисс отложено время. Это время разделено на небольшие интервалы равной длины DT. Интервалы времени должны быть достаточно короткими, чтобы можно было принять допущение о постоянстве темпа потока на протяжении интервала, получив при этом удовлетворительное приближение к непрерывно изменяющимся темпам реальной системы. Это означает, что на решения, принятые в начальной точке интервала, не будут влиять изменения, происходящие в течение того же интервала. Новые значения уровней рассчитываются на конец интервала, и по ним определяются новые темпы (решения) для следующего интервала.

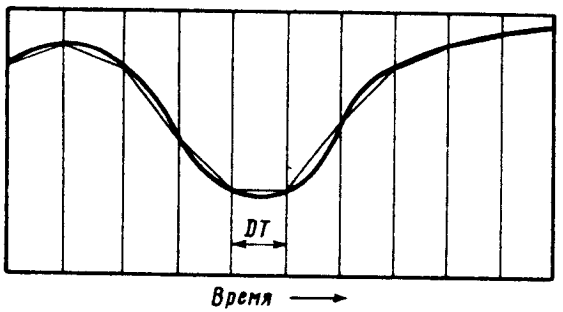
Ясно, что в принципе мы можем выбрать столь небольшие интервалы времени, что от-

резки прямых, проведенных в пределах каждого интервала, будут сколь угодно близко приближаться к любой кривой (см. рис. 6-2).



Р и с. 6-1. Вычисления для момента времени K.

Чем короче и многочисленней будут интервалы, тем более полным будет приближение к кривой. Практически мы будем иметь возможность выбирать интервал столь короткий, сколь это необходимо; однако он должен быть таким,



Р и с. 6-2. Аппроксимация переменного уровня с помощью прямолинейных отрезков.

чтобы объем вычислений не превышал возможностей современных вычислительных машин [1].

Вернемся к рис. 6-1, где последовательным моментам времени даны обозначения J, K и L. Момент K используется для обозначения «данного момента времени». Интервал JK только что истек, и информация о нем, как и о предыдущих периодах, может быть использована при решении уравнений. Информация об уровнях и темпах в последующее время вообще недоступна при решении уравнений в настоящий момент времени K.

Для принципа недоступности будущей информации исключений не существует. Прогнозы не представляют собой будущей информации, они являются лишь представлениями о будущем, основанными на полученной *ранее* информации.

Для целей численного решения основные уравнения модели разделены на две группы: группу уравнений уровней и группу уравнений темпов. При рассмотрении какого-либо интервала времени в первую очередь решаются уравнения уровней, а затем полученные результаты используются в уравнениях темпов. (Вспомогательные уравнения, которые будут рассмотрены ниже, вводятся для удобства в том или ином случае и решаются сразу после решения уравнений уровней — до решения уравнений темпов.)

Уравнения должны решаться для моментов времени, разделенных интервалом DT. Уравнения относятся каждый раз к условным моментам времени J, K и L, причем произвольно принимается, что K представляет «настоящий» момент времени. Другими словами, принимается допущение, что в процессе решения мы как раз достигли момента времени K, но пока еще не решили ни уравнений уровней в момент K, ни уравнений темпов в интервале KL.

Уравнения уровней показывают, каким образом можно определить уровни в момент K, основываясь на знании уровней в момент J и темпов на протяжении интервала JK. В момент времени K, когда решаются уравнения уровней, вся необходимая информация может быть получена и получается из предшествующего интервала времени.

Уравнения темпов решаются в настоящий момент K *после того*, как решены уравнения уровней. Поэтому значения уровней в настоящий момент K могут служить вводами для уравнений темпов [1].

Величины, определяемые из уравнений темпов (решений), относятся к темпам потоков, на которые мы *будем* воздействовать в течение *предстоящего* интервала KL.

[1] Критерии для выбора этого интервала рассматриваются в разделе 6.5.

[1] Темпы в интервале JK также доступны для использования; иногда их можно использовать при вычислении других темпов, но в принципе это не является правильным и необходимым.

Постоянство темпов в пределах интервала DT определяет собой постоянную скорость изменения уровней в течение этого интервала времени. Наклон прямых на рис. 6-1 пропорционален темпам и связывает между собой значения уровней в моменты времени J, K и L.

После определения уровней в момент K и темпов для интервала KL время «индексируется». Это означает, что положения точек J, K, L на рис. 6-1 сдвигаются на один интервал времени вправо. Уровни, только что вычисленные для момента времени K, считаются теперь уровнями в момент J. Темпы для интервала KL становятся темпами для интервала JK. «Настоящий момент времени» K сдвигается таким образом на один интервал времени продолжительностью DT. Всю последовательность вычислений можно теперь повторить для определения нового состояния системы в момент времени более поздний, чем для предшествующего состояния, на величину DT. Модель следит за изменением системы во времени таким образом, что окружающая среда (уровни) обусловливает решения и действия (темпы), которые в свою очередь воздействуют на окружающую среду. Таким образом, взаимодействия внутри системы происходят в соответствии с «описанием», которое было принято за основу при составлении уравнений модели.

6. 2. Символы, используемые в уравнениях

Для выражения величин в уравнениях модели нужно выбрать символы, которые имели бы наиболее мнемонический характер, то есть напоминали бы нам общепринятую терминологию, связанную с повседневной практической деятельностью. Отчасти для того, чтобы согласовать символы с общепринятыми, отчасти в связи с ограниченным числом символов, которые могут быть напечатаны выходными устройствами цифровых вычислительных машин, мы будем пользоваться для обозначения переменных и констант в модели только группами прописных букв английского алфавита и арабскими цифрами. Так, численность работников предприятия A будет обозначаться $EPLTA$; наличие товаров на складе № 5 может быть обозначено $INVW5$; наличие товаров, необходимое в звене розничной торговли, могло бы быть обозначено IDR. Темп выпуска готовой продукции предприятием можно обозначить MOF.

В силу ограниченных эксплуатационных возможностей печатающих устройств вычислительных машин мы не будем пользоваться ни подстрочными, ни надстрочными индексами.

6. 3. Обозначение времени в уравнениях

Следует договориться об обозначении времени, чтобы можно было установить тот момент, к которому относятся количественные значения величин в уравнениях. В литературе, посвященной данным вопросам, время часто обозначается небольшими подстрочными индексами. Так как это не совсем согласуется с возможностями пишущей машинки и вовсе не соответствует возможностям печатающих устройств многих вычислительных машин, то для обозначения времени мы будем пользоваться одной или двумя прописными буквами, следующими за обозначением переменной и отделенными от него точкой.

Так, в предыдущих примерах *уровень* работающих в момент времени J будет $EPLTA.J$, а в момент K—$EPLTA.K$. Следует отметить, что для обозначения времени используется одна буква, поскольку значения уровней определяются только для фиксированных моментов времени — соответственно J или K. Уровни (и вспомогательные переменные, которые будут рассмотрены ниже) будут иметь обозначение времени одной буквой.

Темпы, напротив, будут отмечаться двумя буквами. Например, темп выпуска готовой продукции, имеющий место *в интервале* времени от J до K, обозначается $MOF.JK$, а темп, который *будет* иметь место в течение последующего интервала, обозначается $MOF.KL$ [1].

Константы не будут иметь обозначения времени, так как они не изменяются от одного интервала времени к другому. Постоянное запаздывание, связанное с доставкой товаров в розничную торговую сеть, может быть обозначено DSR.

6. 4. Классы уравнений

Уравнения уровней и темпов уже рассматривались при описании основных свойств используемой ниже структуры динамической модели.

[1] Следует отметить, что величины, относящиеся к моментам времени более ранним, чем J, в данном исследовании не используются, и в этом нет необходимости, хотя обычно при решении многих систем разностных уравнений поступают иначе, сохраняя последовательности величин, относящихся к прошлому времени, путем введения обозначений для моментов времени, предшествующих последнему интервалу. В рассматриваемом случае тот же результат достигается с помощью переменной, отражающей наше представление *в данный момент времени* о конкретном моменте или интервале прошедшего времени, например, с помощью имеющейся *сейчас* информации об уровне сбыта в прошлом году.

Были перечислены и другие типы уравнений, которыми удобно пользоваться, но которые не вносят в модель новых динамических характеристик. Это вспомогательные и дополнительные уравнения и уравнения начальных условий. Рассмотрим форму этих уравнений.

Уравнения уровней. Уровни представляют собой переменное по величине содержимое резервуаров в системе. Как уже отмечалось, они существовали бы и в том случае, если бы система была приведена в состояние покоя и все потоки в ней остановились бы. Значения уровней определяются заново для каждого из последующих интервалов решений; предполагается, что между моментами времени, для которых решаются уравнения, уровни изменяются с постоянной скоростью, но их значения в этом промежутке времени не вычисляются.

Вот пример типичного уравнения уровня:

$$IAR.K=IAR.J+(DT)(SRR.JK-SSR.JK).6\text{-}1,L$$

Символы обозначают следующие переменные:

IAR — фактический запас товаров в розничной торговой сети (единицы), где слово «фактический» употребляется в отличие от «требуемый» и других понятий о запасе товаров;

DT — приращение времени (недели), интервал времени между решениями системы уравнений;

SRR — поставки товаров в розничную торговую сеть (единицы в неделю);

SSR — продажа товаров в розничной торговой сети (единицы в неделю) [1].

Обозначение «6-1, *L*» справа указывает, что данное уравнение является первым в главе 6 (всем уравнениям присвоен цифровой шифр) и что оно описывает уровень («*L*») [2].

Уравнение устанавливает прямую количественную зависимость, согласно которой запас товаров *IAR* в момент времени *K* будет равен предыдущему значению *IAR.J* плюс произведение разности между темпами входящего потока *SRR.JK* и исходящего потока *SSR.JK* на продолжительность интервала времени *DT*, в течение которого существуют эти темпы. Короче говоря, то, что есть в торговой сети, равно тому, что в ней было, плюс то, что поступило, и минус то, что было из нее отдано [1].

Следует заметить, что все члены уравнения имеют размерность «единицы» товаров. В скобках правой части уравнения «единицы» получаются при умножении времени, выраженного в долях недели, на темпы потока в единицах в неделю.

Темпы потока всегда измеряются числом единиц за какой-либо интервал времени, такой, как день, неделя или месяц, но не в периодах, кратных интервалу решений *DT*; единицы времени для темпов и интервала *DT* должны быть одними и теми же, например недели или месяцы. Уравнение сохраняет силу и не зависит от интервала решений *DT*, пока интервал не превышает максимальной величины, которая будет рассмотрена ниже. При изменении интервала решений не требуется вносить изменения в формулировку уравнения или в какие-либо входящие в него константы. Вводя интервал *DT* непосредственно в уравнение мы можем использовать в модели те же общепринятые единицы измерения времени, что и в реальной системе.

Уравнения уровней не зависят одно от другого; решение каждого из них зависит только от информации, касающейся предшествующего момента времени. Поэтому порядок решения уравнений уровней не имеет никакого значения. При решении какого-либо уравнения уровня в момент времени *K* не используется никакой информации из других уравнений уровней, решаемых для того же момента времени. Уровень в момент *K* зависит от его предыдущего значения в момент *J* и от темпов потока в течение интервала *JK*.

Переменные, относимые к классу уровней, могут иметь такие единицы измерения, как

---

[1] Приведенные символы состоят из начальных букв английских слов, выражающих соответствующие величины, например:
IAR — Inventory Actual at Retail,
SRR — Shipments Received at Retail и т. д.— *Прим. ред.*

[2] Обозначение *L* в шифре уравнений не следует смешивать с моментом времени *L*, который будет появляться в уравнениях темпов при обозначении отрезка времени *KL*.

[1] Следует обратить внимание на то, что уравнения уровней есть интегральные уравнения. Если бы мы использовали формулировки, принятые для таких уравнений, то они имели бы вид:

$$IAR=IAR_{t=0}+\int_0^t (SRR-SSR)\,dt,$$

где $IAR_{t=0}$ есть величина запаса товаров в начальный момент времени. Поскольку цифровая вычислительная машина оперирует алгебраическими уравнениями и поскольку они для многих более наглядны, чем дифференциальные уравнения, мы будем формулировать модели непосредственно в виде алгебраических уравнений, решаемых машиной.

«единицы в неделю», так что поначалу может показаться, что мы имеем дело с темпами. Тогда следует применить испытание системы приведением ее в состояние покоя, как это было сделано в разделе 5.1, где мы установили, что *средние темпы* представляют собой по существу уровни, а не темпы.

Уравнения темпов (функции решений). Уравнения темпов определяют темпы потоков между уровнями в системе. Уравнения темпов являются «функциями решений», что будет подробно рассмотрено ниже, в главе 9.

Уравнение темпа решается на основе данных о существующих в настоящее время величинах уровней в системе, которые часто включают в себя уровень, из которого исходит поток с данным темпом, и тот уровень, к которому он направлен. В свою очередь темпы потоков являются причиной изменений в уровнях. Уравнения темпов могут по типу решений относиться к «явным» или «неявным» [1]. Какая-либо разница в структуре самих уравнений при этом отсутствует.

В отношении уравнений темпов важно отметить, что они регулируют действия, которые должны произойти в системе за следующий интервал времени. В момент времени K уравнение темпа решается, чтобы определить то действие, которое будет управлять темпом потока в течение предстоящего интервала времени KL. В принципе уравнения темпов зависят только от значений уровней в момент времени K [2]. (На практике темпы, относящиеся к последнему, только что закончившемуся интервалу времени JK, могут иногда с достаточной степенью точности использоваться вместо уровня, характеризующего средний темп, в том случае, когда усреднение производится для очень короткого интервала времени.)

Уравнения темпов, как и уравнения уровней, на протяжении каждого интервала времени решаются независимо одно от другого. Взаимодействие в системе происходит при последующем воздействии темпов на уровни, которые затем в свою очередь оказывают влияние на темпы в более поздние интервалы времени. Уравнение темпа определяет действие, которое будет совершаться непосредственно в следующий момент. Если момент действия существенно близок (то есть продолжительность интервала решений DT существенно мала), то очевидно, что решение не может испытывать на себе влияния других решений, принимаемых в тот же момент времени в других частях системы [1]. Поэтому уравнения темпов независимы друг от друга и могут решаться в любой последовательности. Поскольку они зависят от значений уровней, вся группа уравнений темпов решается после того, как решены уравнения уровней.

Примером уравнения темпа может служить уравнение запаздывания исходящего потока, имеющее вид показательной функции первого порядка. Объяснение уравнения будет дано в главе 8, здесь же мы рассмотрим лишь его форму:

$$OUT.KL = \frac{STORE.K}{DELAY}, \qquad 6\text{-}2, R$$

где

OUT — темп исходящего потока (единицы в неделю);

$STORE$ — количество, находящееся в настоящее время в запаздывании (единицы);

$DELAY$ — константа, средняя продолжительность времени, необходимого для преодоления запаздывания (недели).

Это второе наше уравнение представляет собой уравнение темпа, о чем свидетельствует буква «R» в его шифре. Уравнение определяет величину темпа «OUT» и показывает, какое значение он будет иметь на протяжении следующего интервала времени KL. Темп должен быть равен величине уровня «$STORE$» в настоящий момент K, деленной на константу, названную «$DELAY$» (без какого-либо обозначения времени, поскольку это константа). Ко времени решения уравнения количественные значения для $STORE$ и $DELAY$ должны быть, конечно, известными.

Вспомогательные уравнения. Уравнение темпа может нередко стать очень сложным, если его действительно формулировать лишь на основе одних уровней, как это утверждалось до сих пор. К тому же темп может быть часто лучше определен, если пользоваться одним или несколькими понятиями, имеющими самостоятельный смысл и характеризуемыми в свою оче-

[1] См. раздел 9.4.

[2] Вспомогательные переменные в уравнениях темпов не нарушают этого принципа.

[1] Существенно короткий интервал времени является препятствием для перемещения информации между решениями в пределах этого интервала. Если учесть это обстоятельство, то интервалы решений не должны выбираться слишком короткими. Решение может зависеть от такого числа вводов информации, какое мы сочтем целесообразным учесть в данной системе. Величина каждого из уровней может быть использована для принятия нескольких отдельных решений в пределах одного интервала времени.

редь уровнями системы. Часто бывает удобно разбить уравнение темпа на отдельные части, которые мы будем называть вспомогательными уравнениями. Вспомогательное уравнение оказывает большую помощь при решении задачи приведения модели в полное соответствие с действительной системой, так как с его помощью можно определить в отдельности многие факторы, принимаемые в расчет при выработке решения.

Вспомогательные уравнения являются промежуточными; они могут быть подставлены одно в другое (если имеется несколько «слоев» вспомогательных уравнений) и далее — в уравнения темпов [1]. Путем алгебраической подстановки вспомогательные переменные могут быть исключены из уравнений, что достигается ценой увеличения сложности уравнений темпов и потери в то же время простоты и ясности значения отдельных уравнений модели.

Вспомогательные уравнения решаются на момент времени K *после* решения уравнений уровней, поскольку для решения вспомогательных уравнений, как и для решения уравнений темпов, часть которых они собой представляют, используются данные о значениях уровней в тот же момент времени. Они должны быть решены *прежде* уравнений темпов, поскольку получаемые при этом результаты необходимы для подстановки в уравнения темпов.

В отличие от уравнений темпов и уровней вспомогательные уравнения нельзя решать в произвольной последовательности, так как одни вспомогательные уравнения могут быть составными частями других, а два или более вспомогательных уравнений могут образовывать «цепочку», которая должна решаться в определенном порядке таким образом, чтобы решение одного уравнения могло быть использовано при решении последующих. Если формулировка уравнений правильна, то должна существовать возможность такой последовательной подстановки. Система вспомогательных уравнений не должна быть замкнутой; это указывало бы на недопустимую и ненужную формулировку уравнений.

Ниже показана цепь из двух вспомогательных уравнений между двумя уровнями и уравнением темпа:

$$IDR.K=(AIR)(RSR.K), \qquad 6\text{-}3,\ A$$

где RSR — уровень, а AIR — константа,

$$DFR.K=DHR+DUR\frac{IDR.K}{IAR.K}, \qquad 6\text{-}4,\ A$$

где IAR — уровень, а DHR и DUR — константы,

$$SSR.KL=\frac{UOR.K}{DFR.K}, \qquad 6\text{-}5,\ R$$

где UOR — уровень.

Следует заметить, что в уравнении 6-3, A (индекс „A“ применяется в шифре вспомогательных уравнений) уровень RSR в момент времени K используется в качестве ввода для вспомогательной переменной IDR в момент времени K. Выражения AIR, DHR и DUR — константы. В тот же момент времени K, IDR является вместе с другим уровнем вводом для вспомогательной переменной DFR. В свою очередь DFR используется вместе с другим уровнем в уравнении темпа 6-5,R для определения темпа SSR.

Отметим, что уравнение 6-3 может быть подставлено в уравнение 6-4 и далее в уравнение 6-5; тогда получим:

$$SSR.KL=\frac{UOR.K}{DHR+DUR\dfrac{(AIR)(RSR.K)}{IAR.K}}. \qquad 6\text{-}6,\ R$$

Таким образом, могут быть исключены вспомогательные уравнения, а темп выражен только через уровни и константы.

В главе 13 уравнения 6-3, 6-4 и 6-5 рассматриваются применительно к обстановке на промышленном предприятии. Каждое из этих вспомогательных уравнений определяет имеющую самостоятельный смысл переменную, важную для отражения системы. Наши представления о системе были бы безнадежно затемнены, если бы мы действительно производили подстановку, выполненную в уравнении 6-6.

Вспомогательная переменная в принципе зависит только от уже известных уровней и от других вспомогательных переменных, значения которых могут быть вычислены до того, как они понадобятся. Как отмечалось в отношении уравнений темпов, значения темпов, относящиеся к предшествующему интервалу времени JK, могут быть иногда использованы во вспомогательных уравнениях; хотя это, строго говоря, неверно, однако при определенных условиях такой метод может дать достаточно хорошее приближение к средним значениям, получаемым для коротких интервалов времени.

[1] Подстановка не повышает «порядок» уравнений, поскольку результирующее уравнение темпа по-прежнему содержит в себе лишь информацию, полученную из данных об уровнях на момент времени K.

Дополнительные уравнения. Дополнительные уравнения применяются при определении переменных, не являющихся частью структуры модели, но используемых при печати и графическом изображении величин, представляющих интерес для понимания поведения модели. Мы можем пожелать собрать информацию (например, о сумме запасов в целой системе), которая не используется в процессе выработки какого-либо решения в модели. Обозначение «*S*» указывает на дополнительное уравнение.

Уравнения начальных условий. Уравнения начальных условий используются для определения исходных значений всех уровней (и некоторых темпов), которое должно быть произведено до начала первого цикла решения уравнений. Они также используются в начальный момент времени для вычисления значений одних констант, исходя из значений других. Уравнения начальных условий решаются только один раз перед началом каждого проигрывания модели. Обозначение «*N*» указывает на уравнение начальных условий.

6. 5. Интервал решений

Интервал решений должен быть достаточно коротким, чтобы его величина не влияла сколько-нибудь серьезно на результаты вычислений. Его следует выбирать по возможности максимально большим с тем, чтобы не допускать увеличения загрузки вычислительной машины там, где это не вызвано необходимостью.

Основное требование ограничения продолжительности интервала вытекает из характера построения системы уравнений. Уровни определяют темпы, а темпы определяют уровни, но система уравнений является «открытой»; под этим подразумевается, что каналы обратной связи остаются в течение интервала решений *DT* закрытыми. Поэтому интервал должен быть достаточно коротким, чтобы изменения в уровнях между моментами решений не привели к недопустимой дискретности темпов.

В большинстве наших систем допустимый интервал между вычислениями будет определяться запаздываниями, имеющими форму показательной функции (см. главу 8). Как мы увидим, интервал *обязательно* должен быть меньше продолжительности любого запаздывания первого порядка; *желательно*, чтобы он был меньше его половины. Поскольку запаздывания третьего порядка наиболее употребительны и поскольку они эквивалентны трем последовательным запаздываниям первого порядка, каждое из которых составляет одну треть запаздывания третьего порядка, интервал решений должен быть меньше одной шестой общей продолжительности самого короткого запаздывания третьего порядка в рассматриваемой системе.

Сформулированное правило является эмпирическим. Наилучший способ проверки правильности выбора интервала решений состоит в варьировании его величины и наблюдении за влиянием ее на результаты вычислений.

Особым критерием, определяющим максимально допустимую величину интервала решений, является взаимосвязь между значениями уровней и темпами потоков, входящих в эти уровни и исходящих из них. Интервал решений должен быть достаточно коротким, чтобы суммарный входящий или исходящий поток не вызывал больших изменений в содержании уровня за один интервал решений. Например, если возможен высокий темп исходящего потока при небольшой величине содержимого в уровне, то интервал решений должен быть достаточно коротким с тем, чтобы только часть содержимого уровня могла быть исчерпана за один интервал решений. Если интервал настолько велик, что на его протяжении из уровня может быть изъято содержимое в большем количестве, чем имелось в нем в начале интервала, то в конце интервала содержимое уровня будет выражаться отрицательной величиной, что не имеет смысла.

Есть другое, более существенное соображение, которое теоретически влияет на величину интервала решений. Теория проб, описывающая прерывистые потоки в системах с обратной связью, устанавливает определенную зависимость между величиной интервала проб (в данном случае — интервала решений) и такими, представляющими интерес для понимания системы характеристиками, как «поле допуска». (Оно показывает, насколько велики могут быть колебания в действиях системы.) Интервал решений должен быть существенно короче периода колебаний тех компонентов системы, которые отличаются наиболее короткой периодичностью, определяемой путем вычислений. Можно полагать, что применение приведенного выше эмпирического правила всегда будет приводить к интервалу, достаточно короткому, чтобы можно было точно отобразить отдельные компоненты, и что этот интервал будет меньше максимально допустимого, исходя из характеристик системы в целом.

6. 6. Избыточность информации, заключенной в обозначениях типа уравнения и времени

Обозначение времени, добавляемое к обозначениям переменных в уравнениях, содержит в себе часть такой же информации, которая уже передается индексом, характеризующим тип уравнения (то есть L, R, A и т. д.). Действительно, в уравнениях уровней (L) значения переменных определяются для момента времени K на основе значений переменных величин в правой части уравнения, относящихся к моменту времени J и интервалу JK. Вспомогательные уравнения (A), по которым определяются значения величин в момент времени K, используют информацию об уровнях и других вспомогательных переменных в этот момент времени (а также, если это целесообразно, информацию о темпах в интервале JK). Уравнения темпов (R) дают значения темпов в интервале KL на основе значений уровней и вспомогательных переменных, относящихся к моменту времени K (а также, если это целесообразно, на основе значений темпов за предыдущий интервал JK).

Таким образом, создается некоторая избыточность информации, заключенной, с одной стороны, в обозначении типа уравнений, а с другой — в обозначении времени; однако опыт показывает, что в противном случае может легко возникнуть путаница в определении типов уравнений и в обращении с обозначениями времени. Поэтому для большей ясности следует использовать оба вида обозначений.

6. 7. Интегрирование уравнений первого порядка вместо интегрирования уравнений более высокого порядка

При рассмотрении формы уравнений уровней [1], которые представляют собой разностные уравнения, отмечалось, что для нахождения уровней по заданным темпам используется последовательное решение уравнений первого порядка. В точных расчетах, связанных с научными исследованиями, часто используется метод решения уравнений высшего порядка. В нашей работе для применения этого более строгого метода вычислений нет, по-видимому, оснований, тем более что практическое применение его связано с серьезными затруднениями.

Мы не ставим задачи повышения точности вычислений. Сам характер систем с обратной связью делает решения нечувствительными к ошибкам, возможным при округлении и сокращении. Мы даже будем преднамеренно вносить дополнительные искажения в величины темпов, которые должны быть определены. Интервал решений может устанавливаться эмпирически и изменяться таким образом, чтобы проанализировать, чувствительны ли решения к применению упрощенных вычислительных методов.

Использование более сложных методов вычислений могло бы сделать формулировку уравнений менее понятной для руководителя и экономиста, не обладающих навыком свободного обращения с математическими методами. Преимущества, создаваемые простотой и наглядностью прямого формулирования, более ценны, как нам кажется, нежели любое незначительное повышение точности, которого можно достигнуть с помощью более тонких методов вычислений.

6. 8. Определение всех переменных

Каждое уравнение позволяет определить одну переменную величину с помощью констант и других переменных. Уравнений должно быть столько же, сколько и переменных (включая исходное уравнение, служащее источником значений для каждого из внешних вводов, используемых при испытаниях модели).

[1] См. раздел 6.4.

Глава 7

СИМВОЛЫ В ДИАГРАММАХ ПОТОКОВ

Структура модели, рассмотренная в главе 5, и взаимосвязанные уравнения, о которых шла речь в главе 6, могут быть изображены в виде диаграммы. Такая диаграмма потоков помогает избежать ошибок и объяснить сущность модели тем, кто не имеет опыта в «чтении» математических уравнений. В этой главе объясняются символы, которые будут использованы в главах с 13 по 15.

Опыт обучения формулированию динамических моделей промышленного предприятия показал, что графическое представление системы уравнений является весьма желательным. Диаграмма, показывающая взаимосвязи между уравнениями, придает ясность формулировке системы. Многие более отчетливо представляют себе взаимосвязи, когда они показаны на диаграмме потоков, а не представлены в виде системы уравнений. Подробная диаграмма потоков дополняет систему уравнений. Она дает значительную часть той же информации, что и система уравнений, но в иной форме. Правильно построенная диаграмма потоков может лучше, чем система уравнений, наглядно объяснить многим работникам, осуществляющим управление, структуру системы. Диаграмма является формой представления системы промежуточной между словесным описанием и системой уравнений.

Диаграмма потоков, отображающая взаимосвязи в системе, должна строиться *одновременно* с формулированием уравнений, описывающих систему. Многие начинающие исследователи в первую очередь пытаются составить уравнения, а затем уже отразить их в диаграмме, если они вообще пользуются диаграммой. Такое пренебрежение диаграммой лишает их возможности воспользоваться на начальных стадиях работы по составлению уравнений преимуществами в ясности формулировки, которые может дать диаграмма.

В этой главе будет описана группа типовых символов, используемых в диаграммах потоков динамических моделей[1]. Символика для представления модели в форме диаграммы основана на произвольном выборе, производимом с целью сделать более ясными частные аспекты той или иной ситуации.

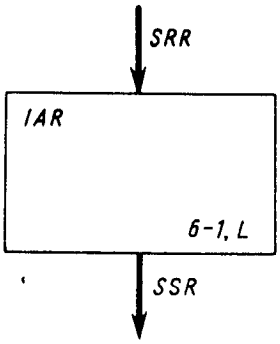
Система символов, используемая в данной работе, учитывает наличие взаимосвязей в системе. Она отличает уровни от темпов. Она отделяет друг от друга шесть систем потоков — информации, материалов, заказов, денежных средств, рабочей силы и оборудования. Она показывает, какие факторы влияют на каждую функцию решения (темп). Однако диаграмма не раскрывает, какие функциональные связи существуют внутри функций решений. Что касается специфических взаимосвязей между факторами, влияющими на решение, то имеющиеся в диаграмме номера отсылают нас к соответствующим уравнениям. Диаграмма в точности отражает их.

7. 1. Уровни

Уровень изображается, как это показано на рис. 7-1, в виде прямоугольника. В верхнем левом углу указывается группа символов (*IAR*), которая обозначает переменную, характеризуемую данным уровнем. В нижнем правом углу поставлен номер уравнения для того, чтобы связать диаграмму с уравнениями.

Нет необходимости делать какие-либо отличительные обозначения внутри прямоугольника для различных систем потоков, поскольку входящие и исходящие линии потоков определяют вид потока (в данном случае — сплошная линия для потока материалов). Острия стрелок показывают направление потока к — уровню или от него. Символы, обозначающие темп потока, даются рядом с линиями потоков (кроме

[1] В главе 13 эти символы будут использованы применительно к определенной ситуации.

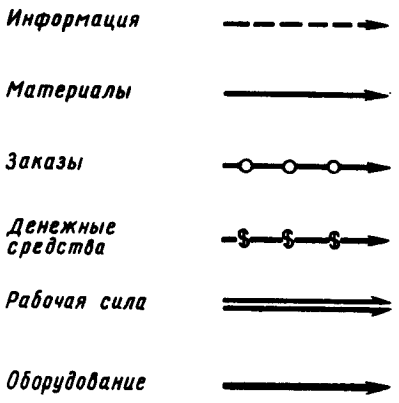


Р и с. 7-1. Уровни.

тех, которые указываются поблизости в функции, регулирующей решение).

7. 2. Потоки

Потоки могут быть направлены к уровню или от него. Символ, относящийся к потоку, характеризует, как это показано на рис. 7-2,

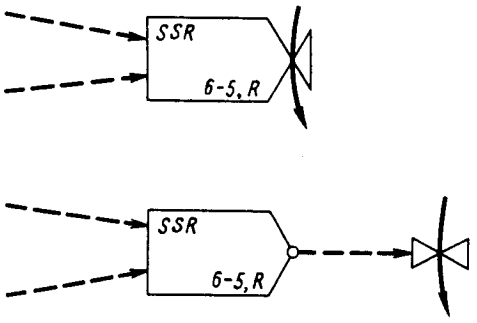


Р и с. 7-2. Символы потоков.

один из шести рассматриваемых типов потоков. Виды линий были выбраны таким образом, чтобы либо наводить на мысль о том или ином типе потока, либо облегчить нанесение изображений.

7. 3. Функции решений (уравнения темпов)

Функции решений определяют темп потока. Они действуют, как вентили в каналах потоков, и поэтому изображаются символами, которыми обычно обозначают вентили (рис. 7-3). На рис. 7-3 показаны две эквивалентные формы символов, с помощью которых изображается не только функция решения, но и регулируемый поток (сплошная линия) и вводы информации

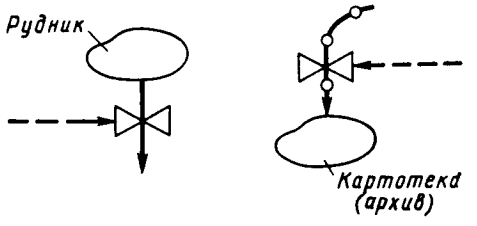


Р и с. 7-3. Функции решений (уравнения темпов).

(пунктирные линии), которые определяют темп потока; здесь же приводится номер уравнения, описывающего величину темпа потока.

7. 4. Истоки потоков и их конечные пункты

Часто бывает необходимо регулировать темпы потоков, истоки или конечные пункты которых не рассматриваются в модели. Например, поток заказов должен откуда-то начаться; однако точность терминологии, используемой в системах потоков, не допускает простого перехода информационных линий в линии, символизирующие заказы. Собственно, можно считать, что заказы начинаются там, где хранятся бланки для оформления заказов, но это не имеет отношения к динамике модели. Точно так же выполненные заказы должны быть изъяты из системы в картотеку выполненных заказов, которая обычно не имеет существенных динамических характеристик. При рассмотрении модели предприятия мы можем иногда вполне обоснованно допускать, что материалы уже поступили для использования в производственном процессе и что при этом характе-

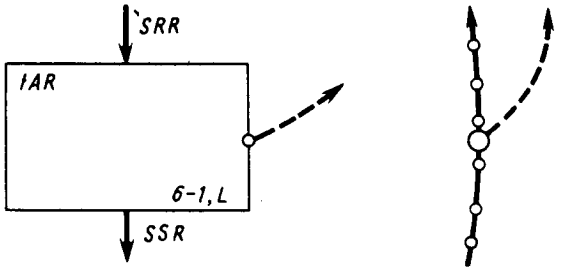


Р и с. 7-4. Истоки и конечные пункты потоков.

ристики источника материалов не влияют на поведение системы. В таких случаях регулируемый поток имеет исток и конечный пункт, которые не рассматриваются более в системе; их символы показаны на рис 7-4.

7. 5. Отбор информации

Потоки информации связывают между собой многие переменные в системе. Отбор информации из её потока не оказывает воздействия

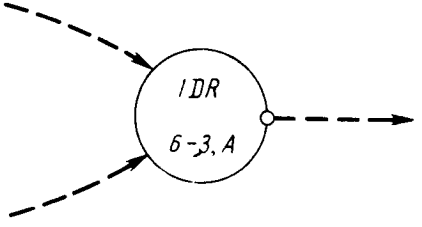


Р и с. 7-5. Отбор информации от уровней и темпов.

на ту переменную, о которой собирается информация. На рис. 7-5 отбор информации показан маленьким кружком в точке отбора и пунктирной линией информации.

7. 6. Вспомогательные переменные

Вспомогательные переменные были выделены как независимые понятия из функций решений, поскольку они имеют самостоятельное значение. Они располагаются в каналах потоков информации между уровнями и функциями решений, которые регулируют темпы. Они могут быть алгебраически подставлены в уравнения темпов.

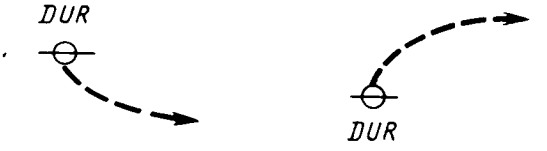


Р и с. 7-6. Вспомогательная переменная.

Вспомогательные переменные обозначаются кружками, как это показано на рис. 7-6. Внутри кружка дается обозначение переменной и номер уравнения, с помощью которого она определяется. Входящие линии информации указывают на переменные, от которых зависит вспомогательная переменная (то есть на уровни или другие вспомогательные переменные). Выходящий поток всегда является результатом отбора информации. Вспомогательная переменная не является результатом интегрирования, как уровень, поэтому нет необходимости сохранять числовые значения вспомогательных переменных от одного момента времени, когда производятся вычисления, до другого. К изображению вспомогательной переменной может подходить и от него отходить любое число линий информации.

7. 7. Параметры (константы)

Многие числовые величины, которые описывают характеристики системы, принимаются постоянными, по крайней мере на время вычислений в ходе одного проигрывания модели.

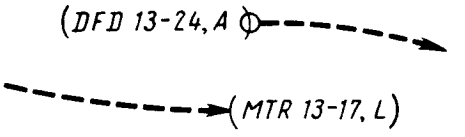


Р и с. 7-7. Параметры (константы).

Они обозначаются линией выше или ниже символа константы с обозначением отбора информации, как это показано на рис. 7-7.

7. 8. Переменные на других диаграммах

Очень часто диаграмма системы делится на части, которые изображаются на отдельных листах. На рис. 7-8 показано, как обращаются с начальными и конечными точками линий потоков, лежащими на других листах. Из рис. 7-8 видно, что в этом случае дается обозначение переменной и номер ее уравнения;

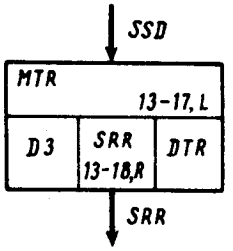


Р и с. 7-8. Переменные, используемые на других диаграммах системы.

кроме того, может быть указан номер страницы, где приведена соответствующая часть диаграммы.

7. 9. Запаздывания

Запаздывания, выражаемые показательной функцией, могут быть представлены комбинацией уровней и темпов потока. Но с запаздываниями приходится сталкиваться так часто,



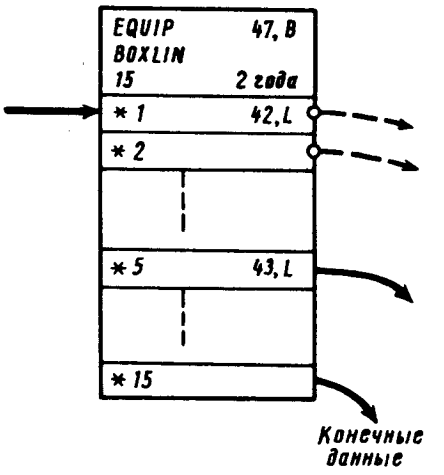
Р и с. 7-9. Символ для обозначения запаздывания, выраженного показательной функцией.
SSD — темп на входе.
MTR — количество (уровень), перемещаемое потоком.
13—17, *L* — уравнение для определения этого количества.
*D*3 — порядок запаздывания.
SRR — темп на выходе.
13—18, *R* — уравнение для определения темпа на выходе.
DTR — постоянная времени запаздывания.

что необходимо ввести сокращенный символ, такой, как изображенный на рис. 7-9.

Этот символ заменяет три уровня со связывающими их между собой темпами (для запаздывания, выраженного показательной функцией третьего порядка). *D*3 в ячейке указывает на запаздывание третьего порядка. *D*1 указывало бы на запаздывание первого порядка.

При рассмотрении явлений, протекающих в течение длительного времени, желательно выделить информацию, относящуюся к прошедшим моментам времени. Для этого может с успехом применяться линейная или циклическая блочная схема. В такой блочной цепи происходит последовательное перемещение содержимого из одного блока в другой через определенные интервалы времени.

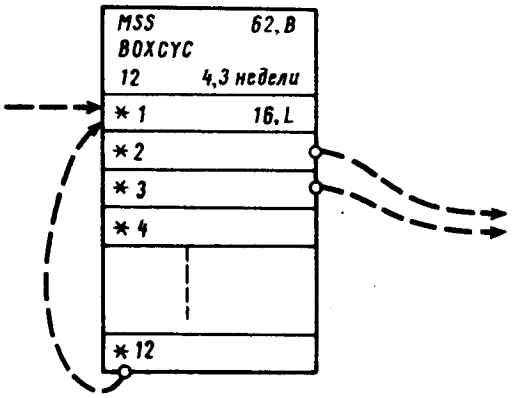
На рис. 7-10 показана линейная блочная цепь, в которой содержимое перемещается сверху вниз из одного блока в последующий через определенные интервалы времени, а содержимое последнего блока вовсе исключается из схемы. Каждый блок (прямоугольник) имеет обо-



Р и с. 7-10. Линейная блочная цепь.
EQUIP — общее обозначение всей цепи.
47, *B* — номер уравнения, определяющего характеристики данной блочной цепи.
BOXLIN — обозначение линейной последовательности с исключением содержимого последнего блока из схемы.
15 — количество блоков в цепной схеме.
2 года — интервал между моментами перемещения содержимого из одного блока в другой.
Поток оборудования показан в первом блоке; он аккумулируется в соответствии с уравнением уровня 42.
Поток оборудования, исходящий из блока 5, регулируется темпом, который представляет собой результат решения уравнения уровня 43.
Исключение содержимого ячейки 15 из схемы происходит автоматически.
Отбор информации производится из блоков 1 и 2.
Отдельные блоки обозначены: *EQUIP**1, *EQUIP**2 и т. д.

значение, которое в уравнениях может быть использовано точно так же, как и любая другая переменная. В качестве наглядного примера можно сослаться на тридцатилетний срок службы оборудования, разбитый на отрезки длительностью по два года каждый. Подобные блочные цепи информации могут содержать частные индексы производительности для оборудования различного возраста.

На рис. 7-11 показана циклическая блочная цепь, в которой содержимое последнего блока вводится снова в первый блок. Показанный пример может быть использован при установлении средней месячной величины сбыта путем усреднения данных, относящихся к соответствующим периодам прошлых лет. Такие помесячные значения обычно используются в решениях, относящихся к сезонным колебаниям производства или сбыта.



Р и с. 7-11. Циклическая блочная цепь.
MSS — общее обозначение всей цепи.
62, *B* — номер уравнения, по которому устанавливаются характеристики блочной цепи.
BOXCYC — указание возврата от последнего блока снова к первому.
12 — количество блоков в замкнутой цепи.
4,3 недели — интервал времени между перемещением содержимого из одного блока в другой.
Поток информации, поступающий в первый блок, как это требуется при расчете средних величин.
Отбор информации происходит из блоков 2 и 3.
Отдельные блоки обозначены в уравнениях как *MSS**1, *MSS**2 и т. д.

Глава 8

ИЗОБРАЖЕНИЕ ЗАПАЗДЫВАНИЙ

Запаздывания имеют решающее значение при определении динамических характеристик информационных систем с обратной связью. Запаздывания формулируются с помощью обычных уравнений темпов и уровней, рассмотренных в главе 6. Некоторые формы запаздываний — показательные и дискретные (канальные) — рассматриваются в настоящей главе. Учитывая, что с запаздываниями приходится иметь дело весьма часто, предлагается «стенографическая» форма записи для обозначения уравнений уровней и темпов, которые используются при изображении запаздывания.

В предшествующих главах подчеркивалось большое значение запаздываний при формировании характеристик информационной системы с обратной связью. В данной главе рассматриваются способы изображения в математических моделях тех видов запаздываний, с которыми мы сталкиваемся при анализе процессов, происходящих в промышленности и экономике.

В принципе запаздывания имеют место во всех каналах. Однако введение запаздываний в *каждый* поток привело бы к появлению в модели огромного количества деталей, многие из которых оказывали бы незначительное влияние на поведение системы. Мы будем все время пользоваться двумя способами упрощения модели с целью уменьшить число тех пунктов в формулировке модели, в которых должны быть введены запаздывания. Во-первых, в отношении многих, небольших по величине запаздываний можно будет установить, что их влияние настолько мало по сравнению с влиянием других запаздываний, более длительных и происходящих в более важных пунктах, что ими можно пренебречь.

Во-вторых, запаздывания, возникающие в отдельных реальных процессах, следующих друг за другом, часто могут быть сгруппированы в едином представлении общего запаздывания. Кроме того, запаздывания в параллельных ответвлениях, соединяющихся в одном канале, часто могут быть сгруппированы путем переноса их в общий канал.

8. 1. Структура запаздываний

Запаздывание характеризует собой процесс преобразования, в результате которого на основе заданного темпа входящего потока устанавливается темп потока на выходе. В динамических системах, где темпы являются переменными величинами, темп исходящего потока может в различные моменты времени не совпадать с темпом входящего потока. Это означает, что содержимое запаздывания переменно по величине; оно увеличивается всякий раз, когда входящий поток превышает поток на выходе и наоборот.

Запаздывание представляет собой особый, упрощенный вид представления об уровнях. Любой из уровней системы необходим для того, чтобы темп входящего потока мог в определенных пределах отличаться от темпа потока на выходе. При формулировке общего понятия уровня не было сделано ограничений в отношении факторов, которые могут воздействовать на исходящий поток. Например, на исходящий поток могут влиять одновременно и уровень запасов и уровень невыполненных заказов. Запаздывание же понимается здесь как особый класс уровней, когда исходящий поток определяется только уровнем, содержащимся внутри запаздывания (а также определенными константами). Например, транспортная система может быть часто адекватно представлена просто в виде запаздывания. Тогда уровень товаров внутри транспортной системы является единственной переменной, а константа характеризует среднее запаздывание. Для определения меняющихся взаимосвязей между этим уровнем и темпом на выходе может быть применен комплекс специальных расчетов. Запаздывания во времени в материальном или информационном потоке можно отобразить с помощью комбинации уравнений уровней и темпов, уже рассмотренных в главах 5 и 6. В связи с этим запаздывания изображаются в

виде «пакетов», состоящих из комбинации уравнений тех темпов и уровней, которые характеризуют рассматриваемый канал потока. Они видоизменяют временные зависимости между заданным потоком на входе и потоком на выходе, на величину которого влияет запаздывание.

8. 2. Характеристики запаздываний

Две характеристики запаздывания представляют очевидный интерес. Одна — длительность времени, выражающая среднее значение запаздывания D. Она полностью определяет «установившееся» запаздывание, при котором темпы потока на входе и выходе и уровень между ними постоянны. При этих условиях темпы входящего и исходящего потоков должны быть равны между собой. При установившихся условиях темп потока, умноженный на среднюю величину запаздывания, дает количество, находящееся в запаздывании.

Вторая характеристика запаздывания описывает его «неустановившуюся реакцию», которая показывает, как динамика исходящего потока связана с динамикой входящего потока, когда темп последнего меняется во времени.

Различные запаздывания могут иметь одинаковую среднюю величину запаздывания D и различные неустановившиеся реакции на изменения в темпе входящего потока. Мы должны очень внимательно подходить к выбору неустановившейся реакции запаздывания, которую мы собираемся использовать в модели. Если при выборе неустановившейся реакции допущена грубая ошибка, это может оказать существенное влияние на качественное поведение динамической модели.

8. 3. Показательные запаздывания

Запаздывания в канале потока внутри математической модели можно определить с помощью функций различного вида. Здесь мы будем рассматривать только один класс функций запаздываний — показательные, которые просты по форме и достаточно полно отражают обычный уровень нашего понимания отображаемых реальных систем. Однако при необходимости для этой цели можно использовать и другие виды функций.

Показательное запаздывание первого порядка (рис. 8-1 *а*) состоит из уровня (который поглощает разность темпов входящего и исходящего потоков) и темпа исходящего потока, зависящего от величин уровня и среднего запаздывания (константы); темп входящего потока определяется другими частями системы.

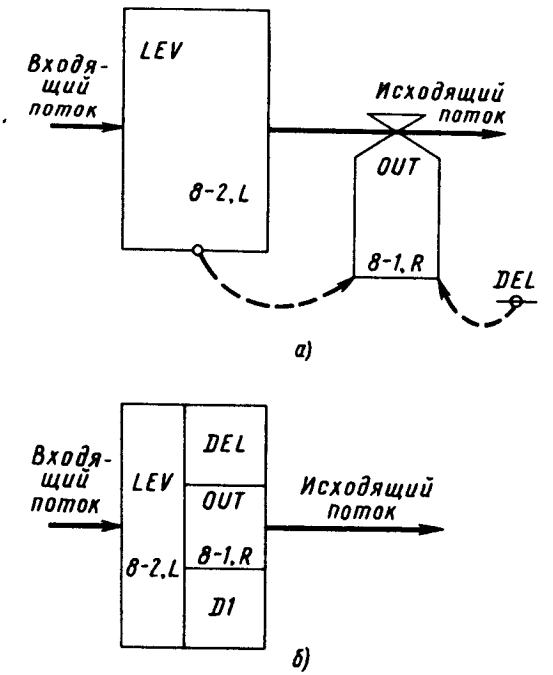
Темп потока на выходе в соответствии с определением данного класса запаздываний равен уровню, деленному на среднее запаздывание:

$$OUT.KL = \frac{LEV.K}{DEL}, \qquad 8\text{-}1,\ R$$

где

OUT — темп потока на выходе (единицы/время);
LEV — уровень, находящийся в запаздывании (единицы);
DEL — постоянная запаздывания, представляющая среднее время, необходимое для преодоления запаздывания.

Уравнение 8-1 является уравнением темпа и определяет так называемое «неявное» решение [1], поскольку оно принимается не по

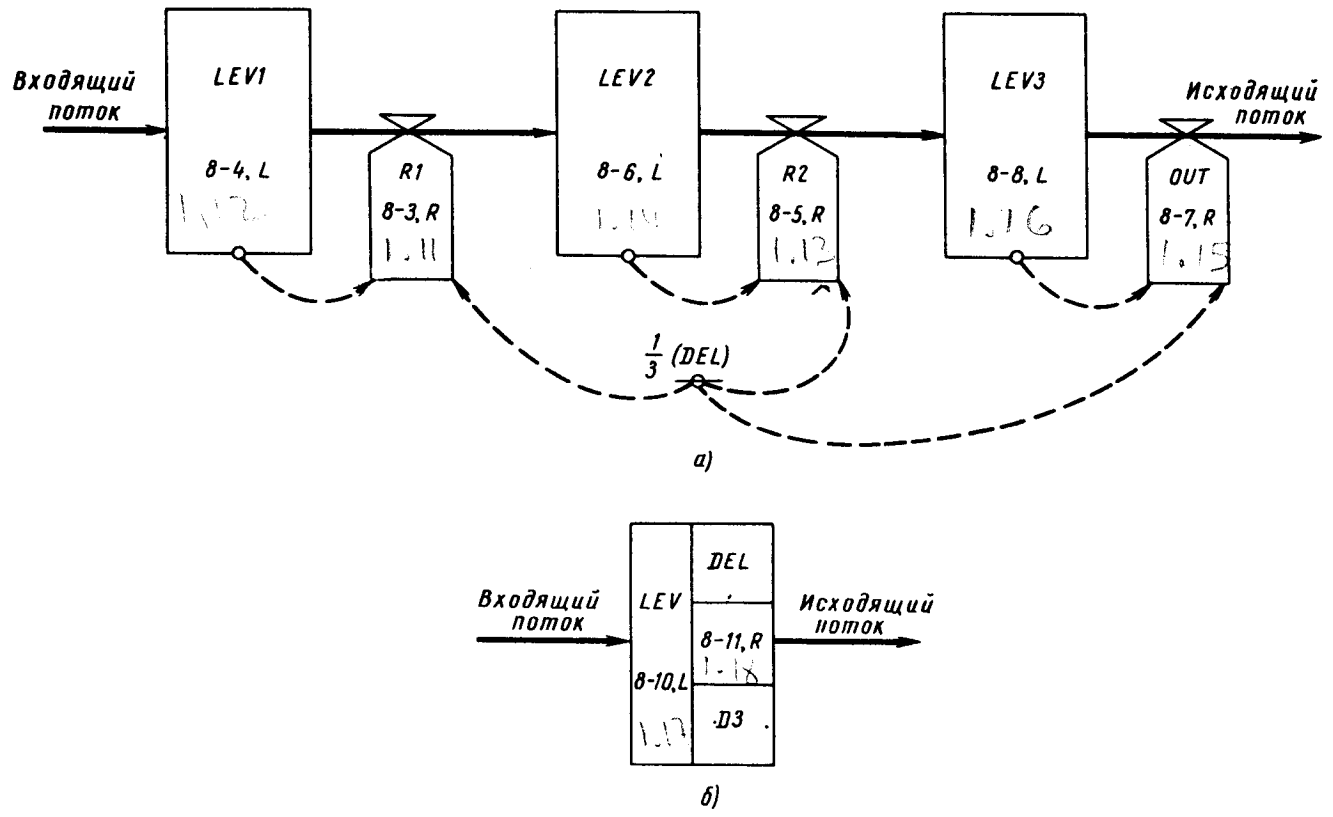


Р и с. 8-1. Показательное запаздывание первого порядка

указанию руководителя, а вытекает из существующего в данный момент состояния системы, отображаемого переменным уровнем LEV.

[1] См. главу 9.

Представление запаздывания неполно до тех пор, пока отсутствует уравнение для определения перемещаемого внутри запаздывания количества *LEV*. Уровень *LEV*, находящийся в запаздывании, накапливается благодаря разпользоваться символами (рис. 8-1 *б*), которые более компактны по сравнению с детализированной диаграммой, приведенной на рис. 8-1 *а*. На рис. 8-1 *б* в полуячейке со стороны входа дается обозначение переменной уровня и шифр



Р и с. 8-2. Показательное запаздывание третьего порядка.

личию в темпах входящего и исходящего потоков:

$$LEV.K=LEV.J+(DT)(IN.JK-OUT.JK), \quad 8\text{-}2, L$$

где

LEV — уровень, находящийся в запаздывании (единицы);

DT — интервал между последовательными решениями уравнения (время);

IN — темп входящего потока, задаваемый другим уравнением системы (единицы/время);

OUT — темп исходящего потока (единицы/время).

В связи с тем, что запаздывания будут весьма часто употребляться при построении динамических моделей, для их изображения мы будем уравнения, определяющего его величину. В трех ячейках со стороны выхода приводятся символ постоянной запаздывания, номер уравнения, определяющего темп на выходе, и «порядок» запаздывания (*D*1 для первого порядка).

Показательные запаздывания высшего порядка получаются путем проведения потока через два или более последовательно расположенных запаздывания первого порядка. Запаздывания первого и более высокого порядков могут иметь одинаковое общее среднее запаздывание *D*, но будут различаться по неустановившейся реакции на *изменения* в темпе потока.

На рис. 8-2 *а* показано запаздывание третьего порядка в виде общего суммарного запаздывания *DEL*. Это общее запаздывание распределено на три равные части, каждая из которых представляет собой запаздывание первого по-

рядка. Показательное запаздывание третьего порядка определяется тремя парами уравнений, подобных 8-1, R и 8-2, L, которые связывают между собой темпы потока на входе IN и на выходе OUT:

$$R1.KL=\frac{LEV1.K}{(DEL)/3}, \qquad 8\text{-}3,\ R$$

$$LEV1.K=LEV1.J+(DT)(IN.JK-R1.JK), \qquad 8\text{-}4,\ L$$

$$R2.KL=\frac{LEV2.K}{(DEL)/3}, \qquad 8\text{-}5,\ R$$

$$LEV2.K=LEV2.J+(DT)(R1.JK-R2.JK), \qquad 8\text{-}6,\ L$$

$$OUT.KL=\frac{LEV3.K}{(DEL)/3}, \qquad 8\text{-}7,\ R$$

$$LEV3.K=LEV3.J+(DT)(R2.JK-OUT.JK). \qquad 8\text{-}8,\ L$$

Нас в большей степени будет интересовать общее количество LEV, проходящее через данное запаздывание в целом, чем пребывающее в отдельных его секциях. В этом случае можно записать:

$$LEV.K=LEV1.K+LEV2.K+LEV3.K. \qquad 8\text{-}9,A$$

Составление уравнений типа 8-3—8-9 и диаграмм, подобных изображенной на рис. 8-2 *а*, каждый раз, когда нужно представить запаздывание третьего порядка,— весьма трудоемкая операция [1]. Поэтому мы будем применять в таких случаях сокращенное обозначение. Для нас обычно будет представлять интерес общее перемещающееся в запаздывании количество, описываемое уравнением 8-9; это количество может быть определено непосредственно из уравнения

$$LEV.K=LEV.J+(DT)(IN.JK-OUT.JK), \qquad 8\text{-}10,\ L$$

которое аналогично уравнению 8-2, L.

Для того чтобы в сжатой форме представить уравнения с 8-3 по 8-8, можно воспользоваться следующим функциональным обозначением:

$$OUT.KL=DELAY3(IN.JK,\ DEL). \qquad 8\text{-}11,\ R$$

Это обозначение не является в собственном смысле слова уравнением; оно лишь указывает на то, что задан необходимый набор уравнений для запаздывания третьего порядка. Здесь «*OUT*» обозначает название исходящего потока; «*DELAY*3» указывает, что в поток должно быть включено запаздывание третьего порядка, а средняя величина запаздывания равна «*DEL*».

Для обозначения запаздывания третьего порядка достаточно двух уравнений, записанных в форме уравнений 8-10, L и 8-11, R. Если внутренний уровень перемещаемых в запаздывании количеств больше не будет требоваться где-либо в модели, то уравнение 8-10, L может быть опущено. Для обозначения запаздывания третьего порядка будет использован сокращенный символ из рис. 8-2 *б*, аналогичный приведенному на рис. 8-1 *б* сокращенному символу для запаздывания первого порядка.

8. 4. Реакция показательных запаздываний

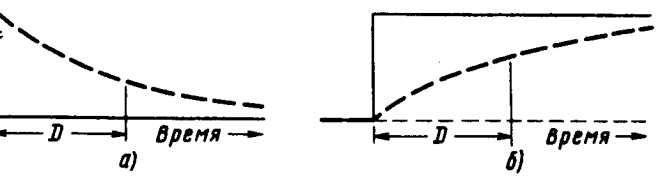
После того как мы рассмотрели математическую форму показательных запаздываний, целесообразно перейти к изучению их поведения. Характерной особенностью неустановившейся реакции запаздывания (то есть изменения темпа исходящего из запаздывания потока во времени) является ее изменение при увеличении числа секций первого порядка в запаздывании.

Рассмотрим прежде всего частный пример запаздывания, связанного с доставкой товаров с завода в оптовую торговую сеть. Неустановившуюся реакцию фактического реального процесса доставки можно лучше всего выявить, если представить себе поставки большого количества товаров на несколько оптовых баз, расположенных в разных местах, выполняемые с помощью различных видов транспорта. В момент, когда в транспортную систему одновременно вводится большое число единиц товаров, на входе в запаздывание, которое отражает эту систему, возникает «импульс»; наша задача заключается в определении темпа поступления товаров в пункты назначения.

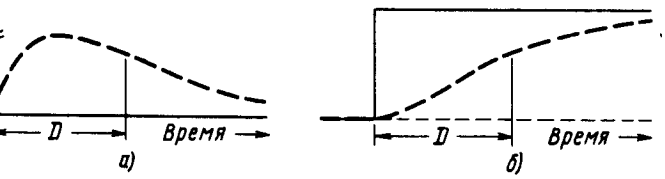
Для этого примера среднее запаздывание могло бы быть установлено довольно просто, поскольку оно зависит от способа транспортировки и расстояний. Однако можно предполагать, что неустановившаяся реакция будет более сложной и потребует более внимательного рассмотрения.

Чтобы правильно представить неустановившуюся реакцию в данном примере, можно было бы сравнить предполагаемое поведение реальной системы с различными взятыми на выбор показательными запаздываниями. На рис. 8-3, 8-4, 8-5 и 8-6 показаны некоторые представители различных видов показательных запаздываний.

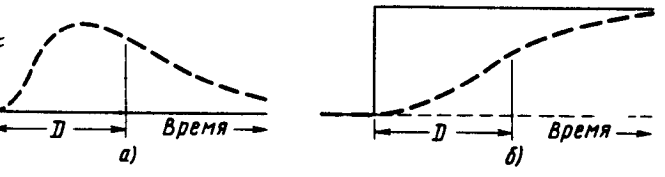
[1] Уравнения запаздывания третьего порядка могут иметь форму, отличающуюся от формы уравнений с 8-3 по 8-8.



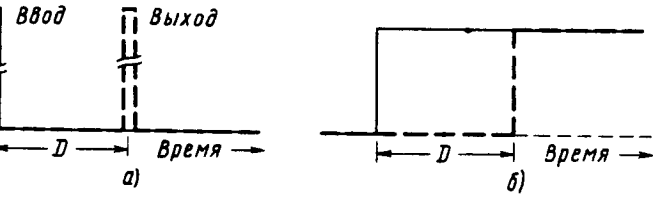
Р и с. 8-3. Показательное запаздывание первого порядка.



Р и с. 8-4. Показательное запаздывание второго порядка.



Р и с. 8-5. Показательное запаздывание третьего порядка.



Р и с. 8-6. Дискретное, или канальное, запаздывание.

На этих рисунках сплошная линия представляет ввод в запаздывание, пунктирная линия показывает выход. Время отложено по оси абсцисс. На каждом рисунке левая диаграмма построена для *импульсного ввода*, когда *количество* вводится в запаздывание в пренебрежимо малое время; пунктирная линия показывает *темп* появления этого количества на выходе. На правой диаграмме на вводе имеет место внезапное скачкообразное увеличение *темпа ввода*, а пунктирная линия снова показывает результирующий *темп на выходе*.

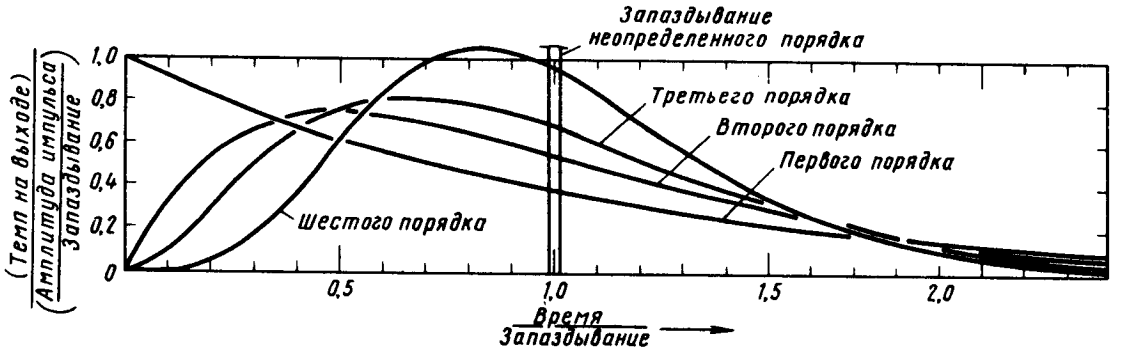
На рис. 8-3 представлено показательное запаздывание первого порядка. На рис. 8-3 *а* максимальный темп на выходе возникает немедленно после импульсного ввода, и после этого темп на выходе снижается по показательной кривой. Ясно, что эта кривая не характерна для запаздываний, связанных с поставкой товаров в рассматриваемом примере, поскольку рис. 8-3 *а* показывает, что максимальный темп поступления транспортируемых количеств в пункты назначения имеет место в момент, когда эти количества только вводятся в транспортную сеть. Конечно, максимальный *темп* поступления не может иметь места в этот момент.

Рис. 8-3 *б* показывает скачкообразное изменение в *темпе* ввода и результирующее увеличение *темпа* выхода из запаздывания первого порядка, которое описывается показательной кривой. Площадь между сплошной и пунктирной кривыми является мерой количества, накапливающегося в процессе транспортировки в запаздывании. Пока через запаздывание проходит поток, общее количество, поступающее на выход, меньше общего введенного в запаздывание количества на величину, находящуюся в процессе транспортировки.

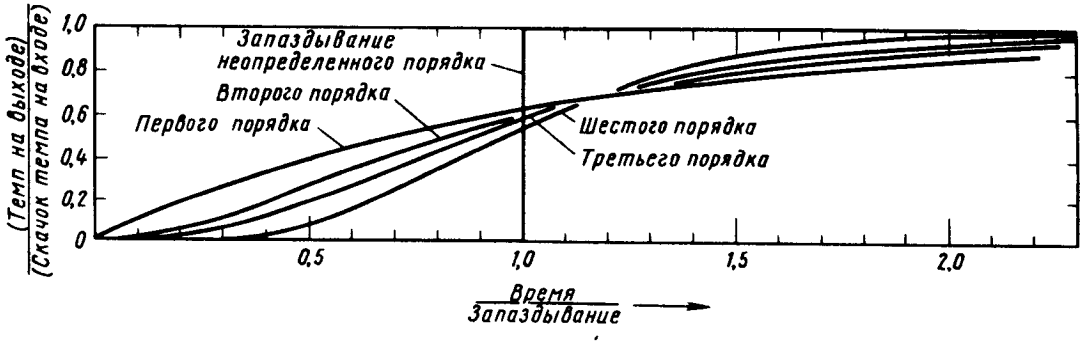
На рис. 8-4 показана реакция на выходе показательного запаздывания второго порядка. Это запаздывание эквивалентно двум запаздываниям первого порядка, расположенным друг за другом так, что выход первого служит входом второго. На рис. 8-4 *а* начальный темп выхода как реакция на импульсный ввод равен нулю, а кривая выхода имеет максимальную крутизну в начальной своей части. Это также, по существу, неприемлемо, если говорить о запаздываниях при поставках, поскольку нельзя ожидать, что темп поступления начинает резко возрастать в момент, когда отгруженные товары покидают предприятие.

На рис. 8-5 изображено показательное запаздывание третьего порядка. Такая форма реакции на выходе в отличие от рассмотренных ранее удовлетворяет очевидным характеристикам фактического процесса поставки. На рис. 8-5 *а* выходная реакция на импульсный ввод вначале равна нулю; при этом угол наклона кривой выхода в начальной точке также равен нулю. Кривая начинает медленно подниматься, достигает максимальной крутизны, а затем и экстремального значения, и идет вниз. На рис. 8-5 *б* показан выход, следующий за скачкообразным изменением в темпе ввода.

Запаздывание третьего порядка удовлетворяет важнейшим требованиям, которые мы можем интуитивно предъявить к выражающей его функции в приведенном выше примере доставки товаров. Дальнейшее уточнение функ-



Р и с. 8-7. Реакции показательного запаздывания на единичный импульс.



Р и с. 8-8. Реакции показательного запаздывания на скачкообразное изменение темпа на входе.

ции запаздывания потребовало бы тщательного изучения каждого из запаздываний в реальной системе и их распределения во времени. Маловероятно, что какое-либо дальнейшее уточнение будет оказывать заметное влияние на поведение системы.

Если показательное запаздывание постоянной общей продолжительности дробить на увеличивающееся число последовательных секций первого порядка все меньшей и меньшей величины, то начальное запаздывание в ответ на импульс увеличивается, прежде чем возникает реакция на выходе. При этом подъем кривой выхода происходит круче, круче становится и спад этой кривой; в результате нулевое значение темпа на выходе наступает быстрее. Последний, конечный член этой группы запаздываний представляет собой гипотетическое запаздывание неопределенного порядка [1]. Его иногда называют дискретным, или канальным, запаздыванием. Рис. 8-6 дает представление о показательном запаздывании неопределенного порядка, где на выходе ничего не происходит до тех пор, пока не пройдет время запаздывания D; после этого на выходе сразу же в точности воспроизводится ввод. На рис. 8-6 *а* показан импульсный ввод определенного количества в запаздывание и, как результат, импульсный выход, возникающий в момент времени D. Рис. 8-6 *б* показывает реакцию на скачкообразное изменение темпа ввода. Темп ввода возрастает внезапно от нуля до конечной величины реакции; то же происходит и на выходе на D дней позже. Ясно, что такое представление запаздывания не будет правильно отражать реальную обстановку в приведенном выше примере, поскольку в этом случае оказалось бы, что все поставки, которые были начаты в один и тот же момент, должны быть выполнены точно в одно и то же время, на D дней позже, независимо от того, насколько далекой была транспортировка.

При отображении запаздывания, связанного с установлением темпа производства на предприятии после его реконструкции, у нас может

[1] Практически невозможно добиться весьма близкого приближения, используя секции первого порядка: их потребовалось бы слишком много. Это приближение может быть получено с помощью различных типов разностных уравнений высших порядков.

появиться желание получить более длительное начальное запаздывание, чем создающееся в случае с показательным запаздыванием третьего порядка. Так как последовательное расположение показательных запаздываний увеличивает начальное запаздывание и крутизну восходящей ветви кривой, то в этом случае можно будет воспользоваться, например, запаздыванием шестого порядка (то есть двумя последовательными запаздываниями третьего порядка).

После того как будет найдена функциональная форма, качественно соответствующая накопленному нами знанию фактов, отпадет необходимость в соответствующих данных для дальнейшего уточнения функции. Это положение может служить иллюстрацией общих соображений в разделе 3.7 об источниках информации для разработки моделей. Как только удастся установить вид функции, которая качественно удовлетворяет характеристикам реальной системы, как в неустановившихся, так и в стабилизированных условиях, лучше всего, вероятно, перейти к другим частям модели, пока испытания сами не выявят ее чувствительности к некоторым принятым допущениям [1].

На рис. 8-7 показаны реакции на выходе запаздываний, выраженных показательной функцией первого, второго, третьего, шестого и неопределенного порядков для случая, когда ввод является импульсным. Это значит, что в нулевой момент времени в запаздывание вводится определенное количество и на этом ввод прекращается. Проследим за темпом на выходе. По оси абсцисс на рис. 8-8 отложено время в единицах общего среднего запаздывания D, которое определяется таким образом, чтобы при *установившемся потоке* его темп, умноженный на величину среднего запаздывания, определил находящееся в нем количество содержимого. Другими словами, все кривые приведены к одинаковым условиям таким образом, что для запаздывания величиной D и для *постоянного* потока через запаздывание в количестве R единиц в единицу времени, количество предметов, находящихся в процессе продвижения, было равно произведению $(R)(D)$.

Нетрудно заметить, что запаздывание n-го порядка эквивалентно n последовательным запаздываниям первого порядка, каждое из которых имеет продолжительность D/n. В установившемся потоке каждое запаздывание первого порядка имеет одинаковый темп потока и, следовательно, заключает в себе $1/n$-ю часть общего количества единиц, имеющихся в запаздывании.

По оси ординат на рис. 8-7 отложен темп потока на выходе, отнесенный к начальному темпу запаздывания первого порядка, который равен I/D, где I есть количество, вводимое в начальный момент в виде импульса, а D есть среднее запаздывание. Отношение I/D имеет размерность единицы/время.

На рис. 8-8 показан выход из запаздываний первого, второго, третьего, шестого и неопределенного порядков при скачкообразном характере изменения *темпа* ввода; в этом случае в нулевой момент времени задается величина темпа внезапно возникшего потока на входе. По оси ординат на этом рисунке отложено отношение темпа потока на выходе из запаздывания к темпу на входе [1].

[1] Можно показать, что изменение характеристик запаздывания в самых широких пределах (от первого до неопределенного порядка) сравнительно слабо воздействует на систему.

[1] Заметим, что кривые, характеризующие реакции показательных запаздываний, за исключением предельных запаздываний неопределенного порядка, имеют «хвост»; это означает, что в модели реакции на импульсы (рис. 8-7) никогда не исчерпают полностью запаздывания и не уменьшат до нуля темп на выходе. Соответственно реакция (темп на выходе), связанная со скачкообразным изменением темпа на входе (рис. 8-8), никогда не достигает величины темпа на входе. Это может показаться нереалистическим приближением к реальным запаздываниям, но значение этого эффекта весьма мало даже по сравнению с помехами в каналах потоков в системе; его можно даже оправдать на примере утерянных при транспортировке единиц товара.

Глава 9

ПРАВИЛА И РЕШЕНИЯ

Уравнения темпов, описанные в главах 5 и 6, выражают правила, которые регламентируют функционирование системы. Это функционирование представлено в форме серий решений, определяющих и регулирующих темпы потоков в системе. В основу построения модели кладется отчетливая формулировка образа действий (правил), которые обеспечивают принятие решений с учетом всех условий, подлежащих отражению в данной системе. Процесс принятия решений состоит из трех этапов: установление комплекса показателей, определяющих желаемые условия, учет существующих условий и выработка корректирующих действий, имеющих целью приблизить существующие условия к желаемым.

Искаженная и запоздалая информация о существующих условиях влияет на оценку как желаемых, так и наблюдаемых условий. Из-за такой информации корректирующее воздействие, в свою очередь, также может оказаться запоздалым или искаженным системой еще перед тем, как оно сможет повлиять на существующие и отображаемые условия. Вопрос о существе правил, связанных с выработкой решений, широко освещен в литературе по социальным вопросам, литература по управлению не составляет исключения. Для разработки базовой схемы правил управления накоплены необходимые знания.

Управление представляет собой процесс преобразования информации в действия. Этот процесс мы называем принятием решений. Принятие решений в свою очередь зависит от различных явно выраженных или неявных правил поведения.

Термин «правило» в том смысле, в каком он употребляется в данном контексте, означает порядок принятия текущих решений. Решения же — суть действия, предпринятые в тот или иной момент времени в результате применения установленных правил в определенных условиях, преобладающих в данный момент.

Если управление представляет собой процесс преобразования информации в действия, то ясно, что успех управления прежде всего зависит от того, какая информация отобрана и как выполнено ее преобразование. В этом заключается различие между хорошим и плохим управлением. Каждый человек располагает большим количеством источников информации. Но каждый из нас отбирает и использует лишь небольшую часть информации; при этом мы используем ее не полностью, а иногда и ошибочно.

Хозяйственный руководитель сам создает основу собственного успеха, принимая решение о том, какие источники информации он будет учитывать, а какие можно игнорировать. После того как он отберет определенные виды информации и ее источники, отдавая им предпочтение, успех будет зависеть от того, как он сумеет использовать эту информацию. Насколько быстро или медленно сумеет он превратить ее в действие? Какова относительная ценность различных источников информации в свете целей, которые он собирается достичь? Каким образом достигаются эти цели на основе имеющейся у него информации?

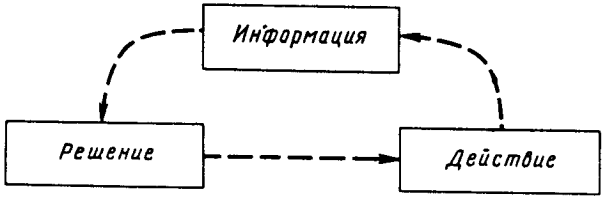
В этой книге управляющий рассматривается как преобразователь информации. Он является лицом, к которому стекается информация и от которого исходят потоки решений, регулирующих действия, осуществляемые внутри организации. Многое в поведении людей может быть правильно оценено, если рассматривать его как преобразование информации в физическое действие. Однако вознаграждение управляющего зависит не от того, какие он предпринял физические усилия. Прежде всего он является лицом, регулирующим информацию на управляемом им участке организации. Он получает входящие потоки информации и комбинирует их в потоки административных указаний.

Когда мы рассматриваем управляющего в этом аспекте, сразу становится ясным, почему нас интересуют вопросы о принятии решений и о потоке информации. Промышленная организация представляет собой комплекс, в котором соединены сети каналов информации. Эти ка-

налы начинаются в тех пунктах, где производится контроль реальных процессов, таких, как наем рабочей силы, капитальное строительство и производство товаров.

Каждому пункту деятельности системы соответствует определенный локальный пункт принятия решений, основанных на данных, которые исходят из источников информации как в различных частях организации, так и в окружающей среде.

На рис. 9-1 показан поток решений в простейшей схеме информационной системы с обратной связью. Информация вводится в пункт, где принимаются решения, которые управляют действием, являющимся источником новой



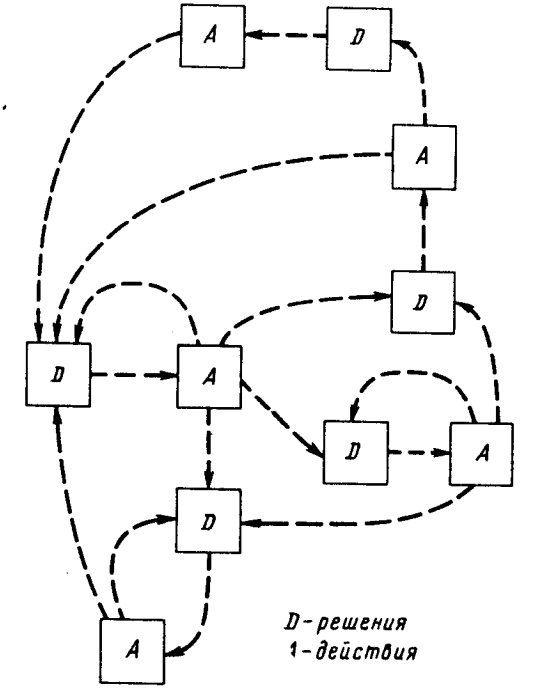
Р и с. 9-1. Решения и информация с обратной связью.

информации. В каждом из элементов схемы имеют место запаздывания. Действительно, информация о действиях не может поступать немедленно, решения не отвечают мгновенно на поступившую информацию, а для выполнения действий, предписываемых потоком решений, требуется время. Равным образом в каждом из элементов схемы могут иметь место усиления, понимаемые здесь в позитивном, негативном или нелинейном смысле. Иными словами, вывод из элемента может быть больше или меньше, чем это можно предположить, исходя из ввода. Кроме того, в выводе могут быть искажения или шумы. Усиления, затухания и искажения в любой точке системы могут сделать ее более чувствительной к одним видам возмущений по сравнению с другими.

Само собой разумеется, что схема промышленной системы неизмеримо сложнее простой схемы информационной системы с обратной связью, изображенной на рис. 9-1. Она состоит из многих звеньев и взаимосвязанных систем, схема которых подобна изображенной на рис. 9-2. Решения принимаются во многих пунктах системы. Каждое ответное действие порождает информацию, которая может быть использована во многих, но не во всех пунктах, где принимаются решения. Эта конструкция из многоступенчатых взаимосвязанных звеньев информации с обратной связью в целом изображает промышленную систему. Внутри фирмы пункты принятия решений простираются от экспедиции и складов до дирекции или правления. В национальной экономике США они простираются от частных решений потребителей относительно покупки автомобилей до размера учетного процента, устанавливаемого Федеральным резервным управлением.

9. 1. Сущность процесса принятия решений

Мы переходим к детальному анализу процесса принятия решений, посредством которых информация преобразуется в действие. Рис. 9-3 показывает структуру системы вокруг пункта принятия решений. Решение основывается на состоянии системы, которое здесь представлено совокупностью различных уровней. Некоторые уровни отражают состояние системы в данный момент, другие — наши представления о том,



Р и с. 9-2. Многоступенчатая система принятия решений.

что происходит в системе. Это могут быть уровни товаро-материальных запасов, численности служащих, среднего числа продаж за последний месяц, выполнения плана научно-исследовательских работ на данное число,

перспективы экономической активности и т. д. Все эти данные являются вводами в пункт принятия решений. Вывод из пункта принятия решений регулирует темп изменения уровней в системе. Термин «решение» употребляется здесь в очень широком смысле. Он может относиться к выполнению заказов за счет имеющихся запасов, размещению заказов для пополнения запасов, санкционированию реконструкции предприятия, найму научно-исследовательских работников, утверждению расходов на рекламу и т. д.

Для рассматриваемой структуры системы чрезвычайно важным является направление линий, характеризующих взаимозависимости между ее элементами, которые изображены на рис. 9-3. Уровни являются вводами в поток решений. Решения регулируют темпы потоков между уровнями. Темпы потоков приводят к изменениям уровней. Однако темпы потоков сами по себе не являются вводами к решениям. Темп потока в данный момент вообще не поддается измерению, остается неизвестным и не может оказывать влияния на принятие решений в данный конкретный момент.

Определенное лицо в промышленной организации может нести главную ответственность за регулирование темпа какого-то одного потока, например за размещение заказов в целях поддержания уровня товаро-материальных запасов. С другой стороны, определенное лицо может объединить несколько отдельных пунктов принятия решений, регулирующих несколько не связанных между собой темпов потоков. Если это так, то нам следует рассматривать эти потоки изолированно, как находящиеся в различных частях сети информации или других сетях данной системы.

Определенный интерес представляет развернутая структура процесса принятия решений, изображенная на рис. 9-4. Решения в основном предполагают три момента. Во-первых, выработка представления о желаемом положении вещей. Каким, по нашему мнению, должно быть положение системы? К чему мы стремимся? В чем заключаются цели и задачи данного пункта принятия решений? Во-вторых, имеется наблюдаемое фактическое состояние. Иными словами, имеющаяся в нашем распоряжении информация приводит нас к определенным заключениям, и мы верим, что они отражают состояние системы в данное время. В зависимости от используемых потоков информации, от величины задержек и искажений в этой информации учтенное фактическое состояние может в большей или меньшей степени отклоняться от действительного положения вещей в настоящее время. Третьей частью процесса принятия решений является выработка образа действий, которые будут предприняты в соответствии с любыми обнаруженными расхождениями между существующим и желаемым состояниями.

Вообще чем больше расхождение, тем сильнее ответное действие, хотя весь этот процесс выявления желаемых условий, определения действительного состояния и выработки на этой основе линии поведения является в высшей степени нелинейным и полным помех. Незначительные расхождения между отображенным и желательным состояниями системы могут представляться не имеющими значения и приводить лишь к незначительным действиям. Возрастающее расхождение может привести ко все более решительным попыткам скорректировать действительное состояние в направлении желаемого. Однако определенный уровень расхождений может остаться и в том случае, когда был использован максимум возможных корректирующих действий, и тогда дальнейшее увеличение разрыва между желаемым и действительным состояниями системы в этом пункте перестает вызывать соответствующие изменения в темпе потоков.

Процесс принятия решений представлен здесь как непрерывный процесс, осуществляемый в механизме для преобразования непрерывно изменяющихся потоков информации в сигналы, которые регулируют темпы потоков в системе. Пункты принятия решений непрерывно реагируют на импульсы, поступающие из внешней среды, что свидетельствует о возможности учитывать новые обстоятельства по мере возникновения последних. Это значит, что система постоянно приспосабливается к изменяющемуся положению вещей, что она постоянно избирает золотую середину, определяя интенсивность воздействия, и что она неизменно стремится к достижению желаемых целей. Интенсивность действий в системе всегда характеризует разрыв между целями и наблюдаемым положением системы.

Следует отметить, что мы рассматриваем процесс принятия решений весьма приближенно, не углубляясь в самый механизм человеческого мышления. Мы даже недостаточно вникаем в существо каждого отдельного решения в том смысле, как мы его себе представляем. Мы не настолько подробно его обсуждаем, чтобы интересоваться, создается ли решение

одним лицом или действиями группы лиц. Вместе с тем мы не настолько отвлекаемся от конкретных условий, чтобы игнорировать пункт принятия решения и его место в моделируемой системе. Для наших целей важное значение имеют правильная степень обобщения и соблюдение надлежащей перспективы. Мы не психологи, анализирующие переживания человека и мотивы его действий. Мы также и не биофизики, которых интересует физическое и логическое строение мозга. Но вместе с тем мы и не держатели акций, которые настолько далеки от предприятия, что не имеют представления ни о его внутренней структуре, ни о социальных явлениях, ни о пунктах принятия решений.

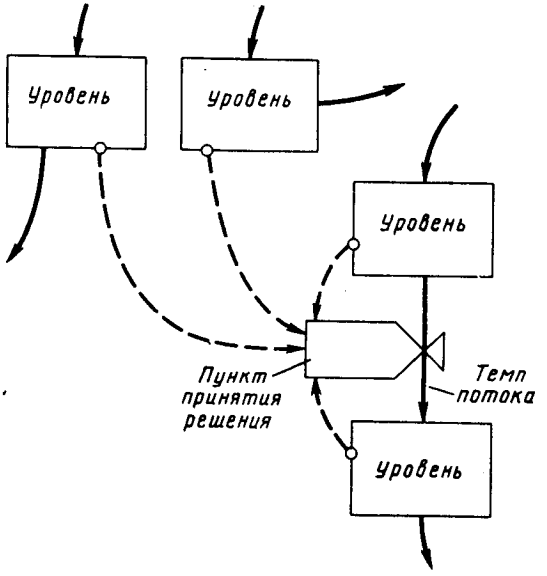
Наша точка зрения — это, скорее всего, точка зрения управляющего, то есть руководящего лица, выполняющего определенные обязанности. Такой администратор достаточно осведомлен о путях достижения желаемых целей. Он находится в таком положении, которое позволяет наблюдать и, вероятно, также обеспечивать источники информации, необходимые его подчиненным для составления более или менее ясного представления о фактическом положении вещей. Он в общих чертах знает те правила, которыми его подчиненный, принимающий решения, будет руководствоваться в зависимости от различных обстоятельств.

9. 2. Правила

Рассмотрим теперь то, что мы называем «правилами». Термин «правило» употребляется в широком смысле для определения того порядка, согласно которому в результате процесса принятия решений информация преобразуется в действия. Правила устанавливают, какие действия последуют в результате определенных вводов информации, или, иначе говоря, каков характер взаимосвязи между источниками информации и потоком ответных решений.

Прежде всего уточним наше понимание термина «правило». Позднее мы займемся вопросом о том, существуют ли вообще такие правила и можно ли определить их форму.

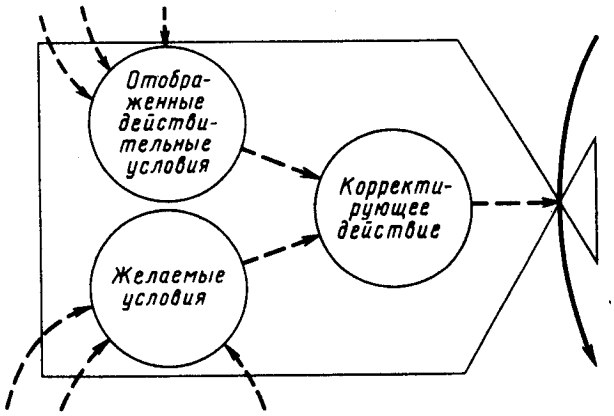
Правила, как уже говорилось, это — основные принципы, определяющие зависимость между источниками информации и ответными потоками решений. В литературе их часто определяют как образ действий, которым руководствуются при принятии решений. В области физических систем, в особенности в области следящих систем, термину «правило» соответствует термин «функция преобразования»; эта функция показывает, в какой зависимости находится вывод из того или иного элемента от потока вводов; она не обязательно должна указывать определенные физические пути преобразования. Мы будем удовлетворены, если функция преобразования в конкретных условиях подскажет нам достаточно верно, какими должны быть ответные действия на настоящие и прошлые потоки вводов.



Р и с. 9-3. Принятие решений в структуре системы.

Значительная часть литературы в области экономики посвящена тому, что мы здесь называем правилами. В промышленных организациях некоторые виды правил носят весьма формализованный характер. Они сведены к составлению инструкций для тех, кто принимает решения в системе. Но правила руководства в значительной степени складываются из неформальных элементов, которые оказывают тем не менее значительное влияние на положение вещей. Они зависят от привычек, подчиненности, общественного давления, укоренившихся понятий о том, к чему следует стремиться, от значения влиятельных центров внутри организации и от личной заинтересованности.

Отвлеченное понятие принятия решений в своем развитии прошло через три разные стадии. На низшей стадии — это случайные, не-



Р и с. 9-4. Процесс принятия решений.

обдуманные действия, которые не зависят от вводов и не имеют под собой никакой основы. На второй стадии мы встречаемся с иррациональными интуитивными реакциями, которые по существу являются результатом получаемых потоков информации, однако те, кто действует, не отдают себе отчета в том, как складываются и на чем основываются их решения. Можно предположить, что эта стадия представлена «мышлением» и решениями низших животных. Для их решений и действий есть основания и причины, но очевидно, что они не знают об этих основаниях и их логической структуре. Для третьей стадии характерна осведомленность о формальных основаниях решений; здесь мы отдаем себе отчет, почему принимается то или иное решение и какова будет реакция других лиц на определенные изменения в окружающей их обстановке.

Основанное на определенных правилах представление об основаниях для принятия решения, которое я называю политикой руководства, разумеется, известно со времени появления письменности. Важнейшее отличие человека от животных определяется тем, что человек отдает себе отчет, почему он действует так или иначе. История и литература уделяют много внимания основаниям (или политике), которые заставляют человека, принимающего решение, разумно реагировать на окружающую обстановку, реагировать именно так, как этого можно было ожидать. Когда мы говорим, в чем состоит разумная и ожидаемая реакция, то, по существу, мы таким образом описываем правила, на основе которых информация превращается в определенные действия.

9. 3. Выявление руководящих правил

Нам предстоит теперь решить, располагаем ли мы возможностью достаточно точно выявить сущность руководящих правил, чтобы можно было их использовать для лучшего понимания поведения промышленных и экономических систем, в состав которых мы сами входим. Известно, что по этому вопросу существуют две точки зрения. Бóльшая часть литературных источников по вопросам принятия решений указывает на значительные трудности и тонкости, связанные с этой проблемой. Нередко, когда поднимается вопрос о природе процесса принятия решений в человеческом обществе, мы слышим ответ ученых, что изучению этой проблемы еще не положено даже начало. Однако историки, писатели, администраторы, а также любой из нас в повседневной жизни оказываются более смелыми. Мы все рассуждаем о том, «почему такой-то действовал определенным образом». В ходе этих рассуждений мы обсуждаем политику, которой он руководствовался. Мы судим о том, каким образом он реагировал или как ему следовало реагировать на ту информацию, которая имелась в его распоряжении.

Двойственность нашего отношения к процессу принятия решений может быть проиллюстрирована двумя встречами, которые у меня были недавно с двумя моими сослуживцами. Один решительно утверждал, что действия Федерального резервного управления совершенно невозможно изобразить в виде схематической модели, представляющей поведение национальной экономической системы. При этом в качестве основного аргумента он выдвигал то обстоятельство, что мы не знаем процесса принятия соответствующих решений, которые отличаются слишком большими тонкостями. Эти решения субъективны, интуитивны, и мы ничего не знаем о правилах, которыми руководствуются при их принятии. Второй случай имел место на устном экзамене на степень доктора. Один из экзаменаторов предложил соискателю, как будто это было в порядке вещей, описать те факторы, на основе которых Федеральное резервное управление регулирует в различных направлениях политику в области учетного процента и в области свободного рынка. Иными словами, предполагалось, что кандидат на докторскую степень в области экономики знает сущность тех правил, которые определяют поток решений Федерального резервного управления. Разумеется, в ответе могло содержаться

достаточно лишних слов, он мог быть не вполне точным и отличаться многословием. Однако предполагалось, что общие понятия о руководящих правилах управления известны экзаменующемуся.

Противоречивость мнений относительно процесса принятия решений весьма сходна с тем, что мы наблюдаем в представлении о процессе, связанном с изобретательством. В любых рассуждениях о том, каким образом рождаются новые идеи, как возникают изобретения и достигаются результаты в научных исследованиях, существует очень много спорного и мало единства во взглядах. Однако господствует почти полное единодушие в признании того факта, что вероятность достижения успеха определяется квалификацией и опытом исследователя, размерами ассигнований, характером мотивов и степенью заинтересованности в получении результата. Этот общий взгляд относительно сущности функции преобразования, которая сочетает вводы в виде финансов и людских ресурсов и обеспечивает выработку на этой основе научных выводов, является базой для решений конгресса и для определения величины ассигнований на нужды военного ведомства.

Короче говоря, вся цивилизация исходит не только из предположения, что действия человека имеют под собой определенную основу, но также из убеждения, что нам многое известно относительно особой сущности и пределов действия правил руководства. Нам, в частности, достаточно хорошо известно, как воздействуют результаты изменений положения в системе на принятие решений. Периодическая литература по вопросам управления, как, например, «Бизнес уик», «Уолл-стрит джорнэл» и «Форбс», заполнена рассуждениями относительно решений, связанных с управлением. Много опубликованных в печати материалов посвящено обсуждению воздействия существующего положения вещей и о том влиянии, которое оно оказывает на лиц, принимающих решения. Как нам кажется, многие считают, что между автоматическими решениями, которые являются абсолютно формальными, и другими решениями в области управления существует глубокий разрыв. Такие люди не хотят признавать самой возможности существования формальных правил, которые позволяют описать основные принципы управления. В подходе многих администраторов к этому вопросу, связанному с пониманием формальной основы процесса принятия решений, существует интересное противоречие. Любой администратор в силу необходимости признает существование области автоматических решений, поскольку такие решения широко распространены. Большинство администраторов склонны утверждать, что область принятия решений, основанных на интуитивном суждении, столь тонка, что ее невозможно представить хотя бы приблизительно с помощью формальных правил принятия решений. Однако эти же самые администраторы, если перед ними будет стоять задача принять решение, которое они считают выходящим за пределы интуитивного суждения, вынуждены будут обратиться к формальным правилам принятия решений. Я имею в виду всю область прогнозов относительно продаж, состояния рынка и экономики, основанных на статистическом анализе прошлых данных, или на установившейся практике коммерческой части, предположения которой базируются на учетных и бухгалтерских данных. Прогнозы — это в значительной степени процесс принятия решений. Он заключается в сборе прошлой и имеющейся в данный момент информации для ее превращения в такие результаты, которые указывают направления дальнейшей деятельности. Я не утверждаю, что такого рода прогнозы в большинстве своем являются рациональными и действительно верными, но я лишь обращаю внимание на противоречия в подходе к рассматриваемому вопросу. Бывают и такие администраторы, которые даже при принятии простейших решений пользуются формальными методами. За неимением лучшего, они полагаются на определенные статистические расчеты формального характера даже тогда, когда надо принять особенно точные и трудные решения. И тем не менее они считают, что в основе всего лежит область суждений, которая недоступна формальным правилам принятия решений.

Как мне представляется, в настоящее время накоплено достаточно примеров, свидетельствующих о том, что данная область не является темными джунглями, как ее часто представляли. Люди еще не могут достаточно точно рассчитать динамику поведения сложных систем. Число переменных величин, которые можно правильно совместить, весьма ограниченно. Нельзя полагаться на интуитивные суждения даже искусного исследователя, чтобы представить, каким будет динамическое поведение простой информационной системы с обратной связью, состоящей из пяти или шести переменных величин. Это относится и к тем случаям, когда

абсолютно известны вся структура и все параметры системы. Словесная и мнемоническая модели, которые мы способны представить себе, чтобы объяснить динамику поведения промышленных и экономических систем, могут быть эффективно осмыслены, если они по своей сложности не выходят за пределы дифференциального уравнения четвертого или пятого порядка. Мы полагаем, что можем охватить значительно большее число переменных, но я сомневаюсь в том, что они могут быть правильно взаимосвязаны в группах, которые одновременно состоят более чем из пяти или шести переменных. Разум человека не является достаточно могущественным и утонченным для того, чтобы полностью решить проблему, связанную с динамикой информационной системы с обратной связью.

Наука управления до сих пор не достигла сколько-нибудь заметных результатов в формировании и использовании правил, связанных с принятием решений. Трудности, которые встречались в прошлом, можно объединить в три группы.

Во-первых, речь идет о перспективе или дальности предвидения, о котором говорилось раньше. Ученые в области общественных наук пытались рассматривать отдельную личность, придавая особое значение психологии и мотивам индивидуальных действий. Многие попытки лабораторных экспериментов предпринимались с небольшими группами людей, объединенных в искусственной обстановке на короткие периоды времени. При этом не учитывалось влияние социальных условий, предыдущего опыта, стремление соблюдать общепринятый порядок или старание этих людей вести себя таким образом, как этого, по их мнению, хотел бы руководитель. При изучении отдельной личности, особенно наблюдаемой в течение короткого промежутка времени в искусственной обстановке, пытаются подчеркнуть то обстоятельство, что решения не носят постоянного характера, не повторяются, не связаны и являются изолированными.

Другая крайность заключается в том, что экономисты рассматривали предприятие слишком поверхностно. Нередко они, рассматривая рынок, до крайности преувеличивали его роль независимо от того, располагали ли они для этого достаточной информацией. Они видели в лице владельца предприятия человека, который стремится к максимальному увеличению прибыли, не задумываясь над тем, располагает ли он источниками информации и возможностями производить расчеты для определения этого максимума. При столь поверхностном рассмотрении переоценивается значение решений на уровне высшего руководства по сравнению с решениями, принимаемыми на низшем и среднем уровне управления. На самом деле, распоряжения высшего руководителя не изменяют предубеждений, привычек и основанных на личных интересах целей тех лиц, которые принимают решения на среднем уровне. Так, например, в периодической прессе широко освещалась тщетность усилий сменявших друг друга министров обороны, которые предпринимали попытки изменить направление и образ действий военного ведомства. На самом деле такие изменения могут произойти только в результате длительного, медленно развивающегося процесса. Нас вводят в заблуждение различные сенсации, связанные с «переворотами». К действительным изменениям традиционных методов и принципов деятельности организации может привести лишь борьба за право произвести полную смену высшего руководства и увольнение половины среднего звена аппарата управления. Но столь радикальные меры хирургического порядка не являются широко распространенными.

Для того чтобы понять информационную систему с обратной связью предприятия или фирмы, чрезвычайно важно рассматривать индивидуума не изолированно от окружения и не как стоящего вне системы. Только наблюдая людей или группы людей в рабочей обстановке, можно уловить истинную сущность их действий.

Во-вторых, я считаю, что большой урон пониманию процесса принятия решений нанесло представление о нем как о более тонком и требующем большего искусства, чем это есть на самом деле. Слишком сильное впечатление произвело на нас то обстоятельство, что вычислительные машины с наиболее высокой скоростью вычислений пока еще не могут играть в шахматы так же хорошо, как люди. Но этот пример не типичен. Человеку доступна полная и точная информация. Человек вполне успешно справляется с проблемой визуального наблюдения пространственных взаимоотношений, в то время как современные машины делают это плохо. Бывают и другие случаи, вроде описанных в главе второй хронологических изменений. В этих случаях счетная машина в течение пяти минут может определить последствия определенной политики, тогда как целая группа людей могла бы в течение года спорить относительно того, что явится следствием этой

политики, и при этом не пришла бы ни к какому окончательному решению.

Я убежден, что человек, принимающий решения в динамической информационной системе с обратной связью, использует значительно меньший объем информации по сравнению с тем, который имеется в его распоряжении. Более того, имеющаяся в его распоряжении информация значительно меньше по объему, чем это обычно предполагают. Как правило, его действия, с учетом любого данного потока решений, почти полностью обусловлены менее чем десятью вводами информации. То, что он делает с этими немногими источниками информации, будет скорее всего довольно стереотипным. Некоторые из этих источников используются для создания концепции желаемых целей, другие служат для формирования представления о действительном положении вещей. Из сопоставления желаемого и действительного вытекают достаточно простые и кажущиеся логичными действия. Однако то, что представляется очевидным, может быть не лучшим. Наибольшие улучшения в динамику промышленной системы могут быть внесены, если действовать в тех направлениях, которые в силу традиций и сложившихся обычаев в области управления считаются абсолютно неправильными. Наши познания в области динамики сложных информационных систем с обратной связью столь несовершенны, что часто нельзя доверять интуитивным суждениям о вероятности положительного либо отрицательного эффекта того или иного изменения образа действий.

Третья сложность, с которой сталкивались многие, пытаясь разобраться в правилах принятия решений, является результатом того, что опускается одна из ступеней последовательного абстрагирования, связанного с процессом принятия решений. Ранее мы исходили из предположения, что действия на низшем уровне процесса принятия решений являются случайными и иррациональными. Для второго уровня характерны разумные и рациональные действия, однако здесь еще не ясно, какие руководящие правила лежат в основе этих действий. На третьем уровне, с тех пор как существует писаная история, человек уже имеет по крайней мере словесную описательную модель рациональных правил, создающих поток индивидуальных решений. Это важнейший участок на пути к формулированию точных количественных решений, определяемых политикой. На этом этапе развития процесса принятия решений для лучшего понимания лежащих в их основе правил используется искусство и интуитивные суждения человека. Искусство и интуиция на этом новом этапе более не применяются к индивидуальным, изолированным решениям, а используются при определении правил, управляющих потоком индивидуальных решений. На этом этапе методы абстрагирования еще только начинают применяться: здесь уже можно отметить многочисленные удачные примеры, хотя согласие в вопросе о методе пока еще отсутствует. На данной стадии абстрагирования отсутствует описательная литература по вопросу о том, из чего складывается искусство, связанное с определением правил принятия решений. Несмотря на пробелы в этом искусстве, естественные для первого этапа абстрагирования, многие экономисты пытались перескочить на следующий этап абстрагирования. Они пытались использовать статистические методы для того, чтобы вывести из количественных данных о системе правила, регулирующие принятие решений. Это уже другой уровень абстрагирования, когда интуитивное мастерство и суждения применяются для установления строгих правил, с помощью которых определяется формальная политика принятия решений. Я считаю, что мы не готовы для перехода к следующему этапу абстрагирования. Этого нельзя будет сделать до тех пор, пока мы не добьемся признанного успеха в мастерстве, искусстве суждений и использовании интуиции при формулировании правил принятия решений. После того как мы хорошо разберемся в этом процессе, станет возможным превращение анализа деятельности организации в систему твердо установленных правил. Предшествующий опыт свидетельствует о том, что в каждый данный момент следует применять один из уровней абстрагирования. В каждый данный момент мастерство и искусство суждений служат установлению правил, с помощью которых низший уровень может быть автоматизирован.

В качестве примера можно привести развитие программирования на вычислительных машинах. Десять лет тому назад был составлен специальный код для машины с целью решения одной определенной задачи. Следующей стадией абстрагирования было составление программы, состоящей из логических инструкций, сообщающих машине, как создать свою собственную программу для формулирования специальной проблемы. Абстрагирование в программировании в настоящее время углубляется. На новом этапе разрабатываются концепции, ко-

торые позволяют вычислительной машине сформулировать специфическое изложение проблемы, которое другая программа вычислительной машины в свою очередь изложит на языке машины. С философской точки зрения это эквивалентно описанной выше последовательности формальных правил, связанных с принятием решений.

Чтобы приступить к рассмотрению динамических характеристик общественной системы, нам необходимо представить по крайней мере базовую структуру принятия решений. Для этого необходимо иметь возможность уяснить хотя бы приближенно руководящие правила в каждом значительном пункте принятия решений в системе. Такое понимание правил может быть достигнуто, если мы:

— имеем правильное представление о сущности решений и о значении правил, описывающих процесс их принятия;

— располагаем правильной структурой, связывающей состояние системы с правилами, решениями и действиями;

— отдаем себе отчет в том, что процесс может быть искажен и что мы не добьемся (и в этом не будет необходимости) большой точности отображения процесса принятия решения;

— полностью используем значительный опыт и описательную информацию, которая, по всей вероятности, содержит 98% существенной информации в области принятия решений. Остальные 2% мы получим из формальных статистических и цифровых данных. Мы отдаем себе отчет, что формальное математическое изложение правил не имеет в виду абсолютной точности того или иного пути. Мы можем дать формальное математическое изложение любого положения, которое поддается словесному описанию. Недостаточная точность описания не является препятствием для количественного определения наших представлений относительно правил принятия решений. Обычный взгляд, что мы якобы не в состоянии количественно определить правила принятия решений, поскольку не располагаем достаточно точным описанием, смешивает два абсолютно различных соображения. Мы можем математически определить наши представления, не принимая пока во внимание точность получаемых количественных результатов, а уже потом решить вопрос о том, какая точность является достаточной.

Мне кажется, я достаточно убедительно продемонстрировал наши возможности. У нас есть выдающиеся примеры соответствующих достижений в понимании системы управления в армии за последнее десятилетие. У нас есть предварительные примеры такого же подхода к промышленным системам.

Действительные, эффективные функции решений в фирме или экономической системе выходят далеко за пределы формальных правил, изложенных в обязательных нормативных документах и законах. «Эффективные правила» — это остов для нахождения решений, они определяются окружающей обстановкой, источниками информации, которые действительно доступны, мерами поощрения и вознаграждения, которые влияют на людей в каждом пункте принятия решений, порядком обеспечения питанием, жилищем и предметами роскоши, нравами, господствующими в обществе, и унаследованными от прошлого предрассудками и привычками. Если рассматривать решения в этих ограниченных рамках, то мы увидим, что они вовсе не являются действиями, которые нельзя предугадать, как это иногда предполагают. Даже если иметь в виду какого-либо индивидуума, можно допустить определенную степень постоянства характера его реакций на различные события; мы можем осмысленно обсуждать вероятное влияние на него различных воздействий. С еще большей степенью уверенности могут быть оценены вероятные, в среднем ответные действия на изменения в окружающей обстановке для группы людей, находящихся в аналогичных условиях.

Динамическая модель используется главным образом для изучения влияния правил принятия решений на поведение системы. Все решения в модели возникают под полным контролем этих правил. Руководящие правила представляют собой основу для регулирования потоков во всех пунктах действующей системы. Мы должны провести глубокое исследование этой основы для того, чтобы уяснить, каким образом вырабатываются решения при различных возникающих обстоятельствах. Концепция правил, управляющих решениями, выходит далеко за пределы решения человека-администратора. Модель должна также давать «решения», которые носят физический характер: например, сколько невыполненных заказов может быть исполнено исходя из наличных запасов?

9. 4. Явные и неявные решения

Иногда полезно мысленно разделить функции решения на две категории в зависимости от того, являются ли они обычными, созна-

тельными, «свободными» решениями человека или же такими, которые неизбежно вытекают из физического состояния системы; разделяющая эти категории граница будет не очень точной. Мы здесь определяем *явные решения*, как сознательные решения людей, составляющие часть процесса управления или экономического процесса. К явным решениям относятся все решения административного характера, решения о закупках, а также решения, связанные с различными психологическими факторами. *Неявные решения* являются неизбежным результатом состояния системы. К их числу обычно относятся: 1) возможность выполнить заказы, зависящая от имеющихся в данный момент запасов продукции; 2) уровень выхода из системы транспортировки, зависящий от уровней вводов, количества товаров в пути, длительности транспортировки и т. п., и 3) налоги на прибыли.

При анализе фабричного производства хорошо видно различие между явными и неявными решениями. Существующий уровень производства обыкновенно является результатом *неявного решения*, которое определяет уровень производства в зависимости от численности рабочей силы, наличия оборудования и материалов, поскольку невозможно произвольно определить уровень производства и постоянно его поддерживать. Неявному решению сопутствуют явные решения о дополнительном найме рабочей силы и о заказе оборудования и материалов. Будут ли люди действительно наняты в результате явных решений, зависит от действия неявных решений внутри «физического» состояния системы, к которой относятся такие факторы, как наличие незанятых рабочих, предлагаемая заработная плата и т. д. Появятся ли в результате заказов материалы и оборудование, зависит тоже от ряда условий.

Явные и неявные решения не обязательно различать в зависимости от того, как ими оперируют в модели; но следует иметь в виду имеющиеся между ними различия, так как это помогает выявить важные этапы в потоках информации и ответных решениях и действиях. Учет как явных, так и неявных решений создает возможность иметь дело в модели не только с *действительным* положением вещей, но и с *желаемым*. Определенные условия вызывают *желание* изменений; это желание взаимодействует с состоянием системы и ее ресурсами для определения того, что должно произойти.

Введение понятий как явных, так и неявных решений избавляет нас от необходимости иметь дело с системой совместных уравнений, которая возникает в некоторых моделях, например в случае, когда решения, связанные с производством, должны быть постоянно равны решениям, связанным с потреблением, и т. д. Такие решения в действительности принимаются изолированно и независимо одно от другого, а сочетаются они в конце концов через посредство запасов товаро-материальных ценностей, цен и различных потоков информации. Явные решения *желать* или *пытаться* осуществить что-либо являются результатом *информации*, доступной лицу, принимающему решения. Неявные решения, создающие действия, учитывают как действительное состояние системы, так и желаемое.

9. 5. Вводы в функции решений

При формулировании функций решений (уравнений темпов) необходимо следить за тем, чтобы решения исходили из переменных, действительно находящихся в пункте принятия решений. Как правило, информация, доступная для принятия явных решений, не идентична исходным переменным, которые она выражает. Информация может быть запоздалой, смешанной и некачественной. Здесь вновь может возникнуть различие между явными и неявными решениями. Явные решения обычно базируются на информации (которая может быть в ряде случаев искаженной) относительно исходных переменных. Наиболее простые неявные решения регулируют обычные потоки, которые зависят от действительного состояния системы и вследствие этого от действительной величины переменных в модели.

Различие между *действительной* величиной переменной и информацией *относительно* переменной может быть проиллюстрировано на примере товаро-материальных запасов. Возможность поставить отдельный предмет из наличных запасов, зависящая от того, есть ли этот предмет в наличии, обычно может рассматриваться как неявное решение, регулируемое истинным состоянием запасов в данный момент. Это истинное состояние запасов является одной из переменных величин в модели. Функция принятия явных решений, которая регулирует заказы материалов для пополнения запасов, зависит от *информации относительно* их наличия, а эта информация может быть запоздалой и неточной. Для характеристики того, что *представляется* нам запасами, в некоторые модели целесообразно включить

отдельную переменную величину. Иногда имеют дело с понятием «желаемое состояние запасов», которое часто отличается от обоих предшествующих понятий; в таком случае оно должно стать третьей переменной величиной, относящейся к тем же товаро-материальным запасам.

В качестве второго примера рассмотрим модель экономической системы, которая должна постоянно воспроизводить уровень валового национального продукта; очевидно, что этот уровень не может быть дан в качестве ввода к любому явному решению (например, при планировании расширения предприятия). Информация о действительном положении вещей в данный момент будет неизбежно запаздывать и содержать некоторую долю ошибок и неточностей. Для того чтобы имеющаяся информация соответствовала действительному положению, она *должна быть* запоздалой; при этом она будет содержать какую-то долю ошибок и неточностей, даже если до запаздывания она отражала действительные величины переменных.

Модель, подобно действительному миру, нередко должна воспроизводить как «истинные» величины переменных, так и связанные с ними переменные, выражающие те величины, которые в процессе принятия решений лишь принимаются во внимание или учитываются.

9. 6. Определение формы функций решения

Модель, которая может воссоздать правильную динамическую систему поведения, требует формальных выражений, показывающих, как принимаются решения. Поток информации непрерывно превращается в решения и действия. Никакие ссылки на то, что мы недостаточно хорошо разбираемся в процессе принятия решений, не могут освободить нас от нахождения критерия, которым следует руководствоваться при принятии решения. Пренебрежение к принятию решений означает отрицание их существования — эта ошибка гораздо более значительная, чем любая ошибка, связанная с оценкой процесса.

Могут ли функции решений быть настолько точно определены, чтобы быть полезными? Вообще представляется, что могут. Вдумчивые наблюдения, обмен мнениями с лицами, принимающими решения, изучение имеющихся данных, исследование отдельных примеров решений и действий — все это может пролить свет на основные факторы, влияющие на принятие решений. Определение факторов, влияющих на решения, осуществляется в четыре этапа. Прежде всего мы устанавливаем, какие факторы достаточно значительны, чтобы их учитывать. После этого мы для каждого из факторов определяем, в каком направлении он влияет, какова значимость его влияния и какие нелинейности должны быть учтены. Рассмотрим подробно эти четыре этапа.

Факторы, подлежащие учету. При формулировании отдельной функции решения в модели прежде всего необходимо составить перечень тех факторов, которые оказывают важное влияние на решение. Ответ часто бывает неясным. В отношении фактора, который сначала представляется наиболее значительным, в дальнейшем может оказаться, что он слабо влияет на поведение модели или на действительную систему. В то же время фактор, на который в повседневной практике управления обычно не обращают внимания, может оказаться решающим в отношении важнейших черт всей системы в целом.

При выборе факторов, влияющих на решение, необходимо учитывать, оказывают ли они воздействие на характеристики информационной системы с обратной связью. Очень немногие лица имеют правильное интуитивное суждение относительно таких систем. Работа с моделями систем помогает развитию правильного суждения и интуиции. Лучшим способом определить влияние того или иного фактора на функцию решения в модели является наблюдение действия модели при наличии этого фактора и без него; при этом сама модель может быть использована для определения того, что она должна содержать.

Нельзя руководствоваться только степенью прямого влияния рассматриваемого фактора на решение. Следует принимать во внимание также степень обратной связи, которая характеризует влияние решения на фактор, вводимый в решение, а также временные характеристики обратной связи. Относительно слабые воздействия на решение могут быть важными в условиях «позитивной обратной связи», когда переменный фактор оказывает влияние на решение, а решение воздействует на вводимый фактор, усугубляя его влияние на дальнейшие изменения решения. Это можно наблюдать во многих случаях. Например, покупатели в ответ на возрастающие задержки в поставке товаров начинают покупать их впрок; возросший из-за этого уровень заказов увеличивает отставание с их выпол-

нением, в результате чего задержки в поставке товаров еще более возрастают.

Направление эффекта. То направление, по которому изменения в определенном факторе влияют на решения, обычно вызывает мало сомнений. Однако следует быть бдительным для того, чтобы правильно представить себе и отрицательные и положительные последствия, которые часто возникают в результате влияния одного и того же фактора. Например, краткосрочное и долгосрочное влияния определенного фактора на решение иногда действуют в противоположных направлениях. И если учитывать только длительные воздействия, то это может оказать серьезное влияние на динамическое поведение модели.

Несколько примеров иллюстрируют виды факторов, которые могут вызывать краткосрочный эффект (часто не принимаемый во внимание) в противоположном направлении, чем при их длительном воздействии, которое обычно принимается во внимание.

Обычно предполагается, что более высокие цены стимулируют больший выпуск продукции, однако для коротких сроков это иногда бывает не так. Первым шагом, предпринимаемым для увеличения производства мяса, является сокращение поставок скота на рынок с целью создания племенного стада, и таким образом объем продаж сокращается на два или три года; связанное с этим повышение цен означает возрастание стоимости живого «товарного» запаса, что в свою очередь вызывает увеличение периода откорма и также снижает уровень продажи мяса на период в несколько месяцев. В некоторых отраслях горной промышленности рост цен делает экономически целесообразным производство руды низших сортов; имеющееся оборудование с определенной производительностью в этом случае применяется для переработки худшего сырья; в результате уровень производства может снизиться, пока не будут введены в действие малодоходные рудники, которые раньше бездействовали. При расширении научно-исследовательских работ может возникнуть необходимость в найме большого числа людей; однако первоначальный эффект от этого может привести к снижению темпа работ, пока вновь принятые люди не будут обучены и втянуты в производственный процесс. В национальном хозяйстве, основанном на полной занятости, повышение спроса на товары может вызвать отвлечение рабочей силы от производства товаров ради привлечения их к строительству предприятий и производству оборудования; первый шаг к достижению долгосрочной загрузки производства первоначально сокращает производство (разумеется, это воздействие может быть уравновешено другими факторами, например более продолжительной рабочей неделей).

Сила воздействия функций решения. Динамическое поведение информационной системы с обратной связью определяется тем, каким образом *изменения* в одной переменной приводят к *изменениям* в другой. Анализ этого вопроса может привести к предположению о высокой чувствительности системы к точности параметров [1] в функциях решений, однако обычно это не так.

Если модель сконструирована правильно и она выражает действительную структуру социальной системы с обратной связью, то она будет обладать такой же способностью самокорректировки, как в реальных жизненных ситуациях. В предлагаемой формулировке модели все параметры, которые должны быть определены для функций решения, испытывают такое воздействие величин уровней, которое приводит к установлению темпов потоков, предусмотренных решениями. Эти уровни в свою очередь корректируются ответными решениями. Неточный параметр функции решения может потребовать соответствующей корректировки уровней в модели, пока не будет достигнуто правильное соотношение темпов потоков. Приведем некоторые примеры для иллюстрации этой внутренней корректировки. При определении параметра, характеризующего *запаздывание* в погашении счетов дебиторов, можно избрать слишком большую величину; это приведет к тому, что уровень счетов дебиторов слегка возрастет, но *темп* погашения будет все же связан с тем *темпом*, в котором берутся новые обязательства. Принятие в модели слишком низкого уровня спроса покупателей на автомобили приведет к снижению их товарного запаса и к постепенному сокращению автомобильных перевозок до тех пор, пока уровень спроса на автомобили не повысится. Изменение в уровне запаса готовых автомобилей поможет уравновесить функцию решения неточного уровня покупок; при этом динамика *изменения* темпа покупок в количественном отношении останется правильной, если иметь

[1] Параметр — это постоянная для данного цикла работы модели величина, которая была определена при конструировании модели. Разумеется, она может быть изменена для того или иного периода работы.

в виду другие переменные величины модели.

Мы должны больше беспокоиться о том, что говорит модель относительно факторов, которые вызовут *изменения* в темпах и уровнях, чем о точности в определении средней величины темпов и уровней.

Если модель правильно сконструирована, то, как это ни удивительно, на нее часто не оказывают влияния изменения, которые могут иметь место в большинстве параметров — иногда даже изменения в каждом из них. Чувствительность к избранным величинам параметров в модели должна быть не больше, чем чувствительность реальной системы к соответствующим факторам. Представляется очевидным, что наша действительная промышленно-экономическая активность не должна быть слишком чувствительной к основным параметрам этой активности и что эти параметры изменяются не быстро. Это должно быть так, потому что важнейшие характеристики наших организаций остаются неизменными в течение длительного времени. Процветающая фирма стремится остаться такой на длительный период. Успех ее основывается на ее структуре и политике (включая важнейшие аспекты руководства). Национальная экономика США продемонстрировала удивительно подобные повторяющиеся экономические циклы на протяжении своей истории, несмотря на значительные изменения в технологии, в структуре денежного обращения, в быстроте коммуникаций и транспортировки, в соотношении значения промышленности и сельского хозяйства и в активности правительства.

Нелинейные функции решения. Нелинейные модели упоминались в разделе 3.1. Нелинейность модели проявляется в функциях решений, регулирующих темпы потоков. Линейная зависимость — это такая зависимость, в которой вводимые факторы комбинируются путем простого сложения или вычитания для определения результата. Предположим, что темп R зависит от переменных факторов X, Y и Z, как, например, в следующей линейной функции:

$$R = aX + bY - cZ.$$

Здесь переменные X, Y и Z оказывают воздействие на R каждая в отдельности. В частности, переменные Y и Z не определяют влияния переменной X на результат R. Далее, любое влияние на R пропорционально соответствующей переменной ввода, независимо от абсолютной величины, которую она может иметь. Линейные решения недостаточны для описания тех зависимостей, с которыми нам приходится иметь здело.

Напротив, нелинейная функция решения может принимать самые разнообразные формы, как в следующем примере:

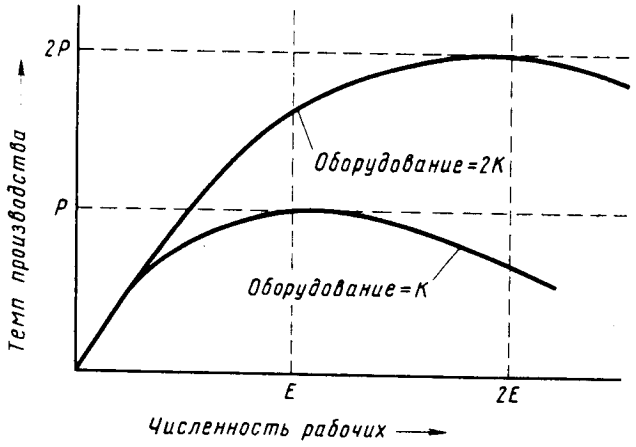
$$R = aX^2 + b(Y)(Z).$$

Здесь мы видим два источника нелинейности. В отношении члена aX^2 надо заметить, что он отражается на результате (R) не пропорционально изменениям X. При изменении X от 0 до 1 результат увеличивается на величину a; с изменением X от 1 до 2 он возрастает на утроенную величину a. В члене $b(Y)(Z)$ влияние Y и Z зависит от величины каждого из них. Чем больше Z, тем значительней эффект от данного изменения Y; если один из них равен 0, то влияние другого тоже равно 0 независимо от его величины.

Для правильного описания поведения фирмы существенное значение имеют нелинейности этих двух типов. Поясним это примерами. Первая форма нелинейности имела место, когда влияние фактора, воздействующего на решение, не было просто пропорционально этому фактору. Например, имеющийся в наличии запас товаров для продажи воздействует на темп поставки товаров. Если запасы низки, то недостаток товаров ограничивает возможности поставки; в пределах «нормальных» запасов товаро-материальных ценностей изменения этих запасов окажут очень незначительное влияние на уровень поставки. Можно предположить, что большинство факторов, вводимых в функции решения, будут нелинейными и их влияние будет увеличиваться или уменьшаться с изменением пределов переменных.

Второй источник нелинейности в функциях решения возникает тогда, когда решение зависит не порознь от двух или большего числа вводимых переменных, а является результатом произведения или иной взаимозависимости этих переменных. В предшествующем примере поставка товаров не является независимым и изолированным ответом на запасы товаров и на объем полученных, но невыполненных заказов на эти товары. Мы не можем просто сложить эти две изолированные величины. Если нет заказов, то размеры запасов не имеют значения и не предопределяют поставку; если нет запасов, за счет которых может быть произведена поставка, то заказы не вызовут поставку.

Эти два вида нелинейности часто встречаются вместе. Рассмотрим зависимость темпов производства от имеющегося уровня численности рабочих и необходимого для производства оборудования. На рис. 9-5 показано, как темп производства может повышаться с увеличением численности работающих на предприятии. Сначала, когда каждый вновь нанятый рабочий может воспользоваться любым необходимым оборудованием, производительность человеко-часа высока и кривая всего производства круто поднимается вверх. После того, как



Р и с. 9-5. Темп производства как функция численности рабочих и количества оборудования.

достигается максимальная производительность оборудования, увеличение выпуска продукции на каждого рабочего снижается. Дальнейший рост числа работающих в конце концов приводит к максимально возможному темпу производства при данном оборудовании. Если и дальше увеличивать число рабочих, то это вызовет простои, беспорядок и потерю в темпе производства. Мы видим, что при данном количестве оборудования темп производства не пропорционален численности рабочих и представляет собой нелинейную функцию. Так как влияние любого данного изменения численности рабочих на темп производства зависит от количества оборудования, то эти два ввода воздействуют друг на друга. При недостаточном числе рабочих колебание количества оборудования от K до $2K$ не имеет значения. При большем числе рабочих влияние дополнительной рабочей силы все больше и больше зависит от того, будет ли введено дополнительное оборудование.

Линейные приближения к этим нелинейным отношениям обычно не дают удовлетворительного результата. Нормальные операции проводятся в достаточно широких границах, так что их нелинейность имеет первостепенное значение. Очень часто *достижение* какой-либо границы становится сигналом для ввода того или иного уравновешивающего действия (в приведенном выше примере снижение производительности человеко-часа в результате избытка рабочей силы является одним из вводов к решению заказать дополнительное оборудование).

Модели, которые мы формулируем, должны быть действенными в широких границах изменения переменных. Это желательно в силу нескольких причин. Мы захотим исследовать широкие пределы изменения различных условий; мы можем не знать заранее, какие значения примут различные переменные; мы захотим, наконец, чтобы модель была полезной за пределами границ, которые можно встретить в реальной системе, потому что разработка новых систем предполагает деятельность вне рамок прежней практики.

При построении модели следует использовать всю информацию, имеющую отношение к той системе, которая должна быть представлена. К совершенно необходимой информации относятся наши знания о том, чего следует ожидать при крайних условиях деятельности. Очень часто мы знаем больше о крайних лимитирующих условиях, чем о нормальных пределах деятельности. Очень часто мы знаем, какой степени кривизны должна достигнуть линия, связывающая две переменные, если переменная ввода достигнет нуля или какой-нибудь абсурдно большой величины. Выбирая функциональные зависимости с учетом всего, что мы знаем, мы увеличиваем шансы получить модель, которая будет действовать надлежащим образом.

Приближенное изображение функции ломаными линиями представляет очевидную опасность для правильного изображения производных переменных величин (их крутизны, скорости изменения крутизны и т. д.). Большая часть действующих ограничивающих условий оказывает свое влияние постепенно по мере приближения к границе. В этом случае приближенное изображение функции с помощью линейных отрезков, которые после очередного «излома» внезапно останавливают изменение функции, является неправильным и часто влечет за собой серьезные последствия, так как

в точке «излома» все производные функции в высшей степени ошибочны.

Правильно изображенные функциональные зависимости, как уже говорилось, облегчают внутреннюю самокорректировку, когда в модели имеются уравновешивающие друг друга величины. Реальное поведение системы легче отобразить в нелинейной модели, чем в линейной, потому что, предполагая нелинейность модели, мы быстрее обнаруживаем те факторы, от которых зависит поведение действительной системы.

9. 7. Помехи в функциях решения

Функции решения в модели обязательно включают только наиболее важные факторы из числа тех, которые оказывают влияние на решения. Помимо этих факторов, действуют многие менее значительные, которые неизбежно опускаются. Эти исключенные из рассмотрения факторы можно объединить в две абсолютно различные категории.

В первую категорию опускаемых факторов входят незначительные воздействия тех переменных, которые являются частью системы и рассматриваемой модели. Эти исключения по существу представляют собой игнорирование в модели некоторых линий обратной связи между переменными. Часто это происходит в целях необходимого упрощения; связанные с этим опасности мы рассматривали в разделе 9.6. Отказ от рассмотрения переменной из функции решения внутри модели представляет собой исключение ввода, который может быть взаимосвязан во времени с решениями, определяемыми функцией решения. Мы ничем не можем восполнить этот вид исключения выбранной наугад переменной, которая в действительности влияет на процесс принятия решения.

Другая группа исключенных из рассмотрения факторов носит совершенно иной характер. Это такие факторы, которые не испытывают на себе воздействия других переменных величин модели. Их источник лежит вне реальной системы, которая отображается в модели, или не зависит от нее. В качестве примера можно взять неопределенное влияние погоды [1]: имеется в виду не только ее очевидное влияние на сельское хозяйство, но также ее воздействие на величину продаж во время пасхи, на продажу спортивного снаряжения и на повседневную деятельность универсальных магазинов. К случайным воздействиям можно также отнести местные национальные или международные политические новости, которые могут быть не вполне свободными от влияния коммерческих дел и от состояния экономики, но на которые часто без достаточных оснований смотрят как на обстоятельства, не поддающиеся учету. Сюда включаются и такие факторы, как отпуска агентов по снабжению, болезнь управляющего и их влияние на бесперебойное течение дела. Этот поток «помех» случайного характера, который не может быть предусмотрен заранее, оказывает свое воздействие во всех пунктах принятия решений в действующей социальной системе. Мы можем приближенно учесть это воздействие путем включения вариаций, связанных с «помехами», в функции решения модели.

Теоретическое изучение вводов, связанных с помехами, и их расчет составляют сложную задачу, которая должна быть разобрана в другом месте. Практический вопрос о том, какие из связанных с помехами характеристик подлежат включению в модель, следует решать, как и вопрос о многих других вводах, прежде всего на основе тех знаний относительно отображаемой системы, которыми мы располагаем.

Вводы в функции решения, которые отражают влияние помех, могут быть использованы для изображения влияния вышеупомянутой второй группы исключенных из рассмотрения факторов, когда они не связаны с моделируемой системой. Помехи не могут восполнить исключение первой группы факторов, которое упрощает структуру информационной системы с обратной связью за счет потери части информации.

---

[1] До того момента, когда мы сможем регулировать погоду как часть экономической системы.

Глава 10

АГРЕГИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ

Ценность модели во многом обусловлена разграничением в системе важных и несущественных факторов. Частично такое обособление основного содержания системы достигается путем агрегирования однородных факторов, которое желательно и важно, хотя в то же время и рискованно. Допустимость агрегирования в значительной степени определяется той ролью, которую отдельные агрегируемые факторы играют в правилах принятия решений. Факторы, управляемые достаточно сходными правилами, которые зависят в свою очередь от достаточно равноценных источников информации, могут сочетаться в одном канале. В зависимости от назначения модели допускается агрегирование факторов и по другим признакам, которые ее характеризуют.

Очевидно, что модель какого-либо предприятия или хозяйства не может отразить каждое отдельное решение и каждую сделку, совершаемую в этой хозяйственной организации. В этом нет и практической необходимости, как нет нужды выводить уравнения для каждой молекулы воды при расчете напора и расхода воды в водопроводной сети. Если сгруппировать отдельные действия по их подобию, то можно добиться большей точности при описании среднего действия, чем при попытке описать каждый отдельный элемент.

Способ такой группировки, или «агрегирование», имеет огромное значение. При недостаточном агрегировании модель будет загромождена излишними, вносящими путаницу деталями. С другой стороны, при слишком широком агрегировании или объединении разнородных факторов мы потеряем те элементы динамического поведения модели, которые хотим наблюдать. Некоторые общие указания могут помочь в установлении основ для агрегирования.

10. 1. Использование отдельных событий для формирования агрегированного потока

Хотя речь идет об агрегировании больших групп индивидуальных физических единиц и решений, агрегированные потоки все же должны перемещаться по тем же каналам, по которым движутся отдельные элементы потока. Аналогично этому при проектировании модели городского водопровода в нее надо было бы включить отдельные водохранилища, насосные станции, магистральные водопроводные линии и группы потребителей воды, различающиеся по своему характеру и территориальному размещению. Нет смысла тратить усилия на изучение поведения каждой капли воды, но тем не менее необходимо составить такую диаграмму, которая отображала бы условия, с которыми сталкивается каждая капля по пути следования от источника до водохранилища и оттуда через трубы и насосы до потребителя.

Модель хозяйственной организации нужно строить точно так же путем изучения отдельных конкретных решений и результатов, достигаемых при их осуществлении.

Сначала составляется диаграмма потока, отражающая результаты отдельных действий. Например, мы можем наметить путь следования заказа: принятие решения о заказе, сроки оформления заказа, пересылка формуляров заказа, пребывание документов в портфеле невыполненных заказов, отгрузка товаров согласно данному заказу, доставка этих товаров. Каждый элемент потока проходит через такие же этапы. В общем потоке можно легко отыскать и проследить по этапам путь следования каждого отдельного элемента. Определив русло для одного элемента, мы стремимся объединить в этом русле как можно большее количество однотипных элементов.

10. 2. Агрегирование на основе подобия функций решений

Функции решений, управляющих темпами потока, наилучшим образом раскрывают допустимость агрегирования.

Можно агрегировать в одном канале любые два элемента или группы элементов при наличии следующих условий:

— если предположить, что этими элементами должна управлять одна и та же функция решения;

— если исходить из того, что контролируемые выходные данные должны использоваться где-либо в модели для идентичных целей.

Например, можно агрегировать товары, заказываемые оптовым звеном, если даже они занимают различные места в каталоге выпускаемой продукции. Первое условие выполняется, если управление запасами этих товаров осуществляется на одинаковой основе и если заказы формируются одинаковым способом и в совпадающие сроки. Второе условие соблюдается, если вопросы, представляющие интерес для предприятия и для оптовика, разрешаются только в зависимости от совокупного агрегированного потока заказов. Такое положение соответствовало бы действительности при наличии достаточной взаимозаменяемости продукции с тем, чтобы в объединенном потоке нашли исчерпывающее отражение вопросы площадей, рабочей силы и другие проблемы предприятия, а также при соблюдении должного постоянства пропорций «смешивания» товаров, чтобы в общих данных о совокупных товарных запасах содержался ответ о средней возможности выполнить заказы.

Агрегирование на основе однородности функций хозяйственных решений в различных случаях приведет к разным результатам, в зависимости от характера конкретных вопросов, на которые должна отвечать модель. Расчеты общей потребности в капитальных затратах могут основываться только на общих данных об объеме всего производства, а приобретение определенного оборудования зависит от характера отдельных производственных процессов на предприятии или от объема продаж определенных товаров, числящихся в номенклатуре его изделий.

При агрегировании только на основе однородности функций решений мы должны группировать лишь те элементы, которым присущи одни и те же временны́е зависимости в отношении определенных факторов. Например, в модели хозяйственной системы агрегируются в отдельные группы только те покупки товаров потребителями, которые имеют одинаковую временну́ю зависимость в отношении доходов и сбережений. По этому принципу можно агрегировать в одну группу все виды продовольственных товаров; в другую группу — текстильные товары, одежду; в следующую — изделия из металла, включая приборы и автомобили; в отдельную группу — здания. Эти основные группы должны рассматриваться раздельно из-за их существенных динамических различий, которые учитываются при обосновании объема закупок, определении их периодичности и продолжительности хранения потребителем данного товара в запасе. Таким же образом можно агрегировать станки и здания промышленных предприятий на том основании, что замена их производится почти с одинаковой периодичностью и согласно однотипным решениям.

Агрегирование только подобных функций решений сохранит важные нелинейные зависимости системы, которые проявляются в этих функциях. Для иллюстрации можно использовать предшествующий пример. Здесь одна технологическая линия может работать почти с предельной, тогда как другая — с небольшой нагрузкой. Оборудование этих линий не приспособлено для переключения с одной продукции на другую. Следовательно, увеличение совокупных продаж и их сопоставление с общим показателем совокупной производственной мощности не говорит еще о том, что потребуется увеличение мощности одной линии при наличии неиспользованной мощности на другой. В отношении этих двух линий может потребоваться индивидуальный подход. Эта проблема частично может быть решена с помощью специальной модели, которую при желании можно построить (см. раздел 4.1).

10. 3. Влияние агрегирования на время запаздывания

Следует указать, что объединение различных элементов в общее русло потока приведет к большим колебаниям времени, в течение которого отдельные элементы транспортируются по каналам системы. Для доставки письма по почте затрачивается определенное количество часов; оно не обязательно одинаково для

каждого письма. Доставка одних писем займет больше времени, а других — меньше. В результате можно будет установить среднюю продолжительность времени доставки и колебания фактической длительности около ее среднего значения. Запаздывания агрегированных потоков должны отражать это фактическое распределение во времени на выходе из каналов.

Чем больше разнообразных элементов в канале, тем больше будут колебания длительности индивидуальных запаздываний и тем менее четко будет выражена реакция запаздывания [1].

[1] В разделе 8.4 было установлено, что реакция на выходе из показательного запаздывания третьего порядка в отношении входной функции выражена менее четко, чем при запаздываниях высшего порядка.

Глава 11

ЭКЗОГЕННЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ

Переменные, независимые от системы, представленной в модели (экзогенные переменные), можно использовать как своего рода проверочные сигналы. В этом качестве они дают возможность узнать, как реагирует модель на определенный образ действий во внешней среде, окружающей модель. Независимая переменная используется так, будто изучаемая система не имеет обратной связи по отношению к этой переменной. Значит, она позволяет исследовать только такие вопросы, в отношении которых предположение о независимости переменной достаточно обосновано. Применение более одной экзогенной переменной оправдывается редко: исключение составляют переменны, представляющие собой случайные помехи, которые с точки зрения правил принятия решений могут рассматриваться как внутренние переменные модели. Применение свыше одной экзогенной переменной предполагает весьма маловероятную ситуацию, при которой экзогенные переменные оказываются связанными между собой посредством механизма управления, но в то же время не имеют связи с переменными рассматриваемой системы. Экзогенная переменная предназначена не для того, чтобы сделать действие модели более реалистичным, а для того, чтобы произвольно воспроизвести те или иные внешние условия и наблюдать за поведением модели в этих условиях.

В разделе 3.1 упоминались открытые и замкнутые модели. Замкнутая модель представляет собой независимую систему, не имеющую связи с внешними (то есть экзогенными, независимыми) вводами. Экзогенные переменные — это такие переменные, значения которых не зависят от внутренних параметров модели.

При исследовании динамических свойств модели какой-либо системы мы часто используем экзогенный ввод в целях проверки модели [1]. Поступая таким образом, мы исходим из предположения, что этот ввод сам по себе независим и не подвержен влиянию изменений переменных, представленных в самой модели. С помощью модели мы можем тогда обоснованно исследовать только те вопросы, для которых правильно предположение о независимости проверочного ввода. Там, где существует предположительная, а не фактическая независимость, модель не сможет воспроизвести те виды действий, которые определяются замкнутой связью от переменных модели к экзогенным переменным и от последних к системе уравнений модели [2]. Как отмечалось в параграфе 9.6, иногда даже слабая связь может весьма сильно отразиться на работе системы, если существуют определенные условия, усиливающие взаимное влияние переменной и решения.

Иногда при построении эконометрических моделей применяется такая практика: в модель включается несколько величин, взятых из реальной хозяйственной практики. Эти величины называют «экзогенными вводами» и рассматривают их как переменные, которые используются в уравнениях модели, но не являются величинами, полученными с помощью этих уравнений. Такой метод может отрицательно сказаться на выявлении динамики системы. Действительно, если система, для которой строится модель, чувствительна к переменным, принимаемым за экзогенные, и в свою очередь оказывает на них влияние, тогда в результате неудачного построения механизма экзогенных переменных нарушаются обратные связи, которые в действительности могут существовать между предположительными экзогенными переменными и переменными самой модели. (В та-

[1] Например, в иллюстрациях к главе 2 в качестве испытательных вводов были использованы ступенчатые функции, сезонные колебания и помехи.

[2] Например, в главе 2 (рис. 2-2 и 2-6) мы исходили вначале из предположения, что розничные продажи независимы от явлений, которые могут иметь место в рамках производственно-сбытовой системы. Несомненно, такое предположение имело ограниченное обоснование: при таком предположении мы были вынуждены ограничиться в исследованиях выявлением определенных внутренних свойств самой сбытовой цепочки. Если бы мы стали считать, что на розничные продажи оказывают влияние внутренние условия сбытовой цепочки, то тогда возникли бы новые виды поведения системы и появилась бы возможность исследовать их.

ком случае предположительные экзогенные переменные на самом деле не являются экзогенными и действуют так же, как и зависимые переменные, определяемые с помощью соответствующих уравнений модели.) Эта ситуация эквивалентна предположению о том, что динамика модели не зависит от вводов, которые рассматриваются как экзогенные, и что они берутся только для проверки модели. Более того, экзогенные вводы берутся в «совокупности» как единый проверочный ввод. Подразумевается, что временные взаимозависимости экзогенных переменных имеют важное значение и взаимно связаны, даже если исходить из предположения, что все экзогенные переменные, как единая группа, независимы от переменных внутри модели. Этот метод может привести к наибольшим заблуждениям. Вводы, которые неправильно принимаются за экзогенные, могут быть настолько тесно связаны с уравнениями модели, что будут оказывать воздействие на поведение всей модели. Модель может утратить внутреннюю свободу действий, от которой зависит порядок действий реальной системы. Если так произойдет, то в модели будут отражаться лишь результаты воздействия многочисленных и поддающихся полному контролю вводов; при этом в модели не отразится характер динамики фактической системы.

По-видимому, было бы крайне неправильно в модели хозяйственной системы страны использовать в качестве экзогенных переменных налоги, денежную массу или государственные расходы. Эти факторы несомненно оказывают воздействие на другие переменные, вроде прибыли, уровня цен, социальных и политических затруднений, вызываемых безработицей, однако они имеют и обратную связь с этими переменными.

В данных условиях гораздо правильнее попытаться отразить в модели (хотя бы и очень несовершенно) ту политику и политические силы, которые, на наш взгляд, действуют в реальной системе, чем пытаться использовать в качестве вводов модели фактические ряды прошлых или текущих данных, взятых из реальной системы. Конечно, при построении модели государственного сектора намечаемые функции решений в модели можно сильно упростить, подобно тому как это делается в отношении других функций решений. Однако, включая в модель эти упрощенные правила, по крайней мере следовало бы сохранить в ней основные замкнутые контуры потока, который связывает правительственные расходы и регулирование кредита в народном хозяйстве, чтобы можно было изучить динамические взаимодействия этих двух факторов.

Применение экзогенных вводов, по-видимому, противоречит нормальной практике за исключением тех случаев, когда внешние вводы совершенно независимы и на них не оказывает воздействия никакая из переменных внутри модели [1]. Как показано в разделе 9.7, в функции решений могут вводиться помехи специфического характера, представляющие независимые факторы, которые не порождаются самой структурой модели.

Существенная некорректность сочетания реальных переменных с переменными модели в процессе ее проигрывания имеет близкое отношение к тем разделам следующей главы, где говорится об ограниченной способности моделей предсказывать значения реальных переменных. Модель следует считать качественной, если в ней рост и колебания переменных имеют приблизительно такие же константы времени, частоту и изменения амплитуды колебания, как и в реальной действительности, Однако если частоты и темпы роста не являются в точности одинаковыми или если их фазы в модели и в реальной системе подвержены изменениям в зависимости от различных помех, то отношение величины переменных реальной системы к мгновенным значениям переменных в модели не будет постоянным. Включение таких переменных в модель может оказаться совершенно лишним; «правильное» их значение в реальной системе совершенно не будет связано с состоянием переменных в модели.

Вопрос о том, какие переменные должны вводиться внутрь самой модели или рассматриваться как независимые (экзогенные) переменные, решается по усмотрению того, кто строит модель, и зависит от ее назначения. Возьмем, например, модель фирмы, поставляющей детали для военного оборудования. Здесь заказы на детали от предприятий, производящих оборудование, не могут рассматриваться как экзогенные переменные (за исключением представляющего ограниченный интерес анализа внутренних взаимосвязей в пределах предприятия, производящего детали, вроде, например, взаимосвязи между запасами, рабочей силой и темпом продаж). Темп заказов, посту-

[1] См. Koopmans, Tjalling C., Editor, Statistical Inference in Dynamic Economic Models, New York, 1950, p. 56, 393—394.

пающих от предприятия, выпускающего оборудование, смежникам, изготовляющим детали, очень чувствителен ко всему, что происходит на этих предприятиях. На него влияют производственные возможности предприятий, изготовляющих детали, обеспечивающие их поставку в необходимом количестве. Невозможность своевременно изготовить детали приводит к передаче заказов конкурентам; задержки в поставке служат причиной заблаговременного размещения заказов в предвидении будущей потребности. Взаимоотношения между смежником, поставляющим детали, и предприятием, выпускающим оборудование, определяют важные стороны динамики производства [1]. С другой стороны, мы, по всей вероятности, можем исходить из предположения, что заказ Министерства обороны предприятиям, производящим оборудование, в отношении предприятия, изготовляющего детали, является экзогенным, поскольку обычно заказы на военное оборудование размещаются без учета состояния производства отдельных деталей. Имеется в виду, что если данное предприятие, поставляющее детали, не может удовлетворить спрос на них, то будут найдены другие источники. Мероприятия поставщика деталей, вероятно, окажут незначительное влияние при заключении правительственных контрактов на поставку оборудования.

Здесь следует отметить, что в реальной обстановке мы обычно ограничены одним экзогенным проверочным вводом, не относящимся к категории помех. Маловероятно, чтобы два или более экзогенных ввода были полностью независимы от переменных в модели и в то же время имели прочную причинную связь между собой. Если две или более экзогенные переменные не связаны друг с другом причинной взаимозависимостью, то любое сочетание этих двух или большего числа переменных во времени составляет самостоятельный проверочный ввод, который необходимо исследовать. Если дается несколько экзогенных вводов в предположении, что их последовательность имеет определенный смысл и не определяется действием помех, то количество возможных сочетаний этих вводов при различных смещениях по фазе становится непомерно большим.

И наоборот, при наличии множества входных помех [1] мы сможем принять во внимание лишь бесконечно малую часть их возможных сочетаний во времени. Однако после проигрывания модели, цикл которого в несколько раз длительнее периода самых продолжительных возмущений, возникающих в динамической системе, общий качественный характер системы в комбинации с ее помехами становится достаточно ясным.

Подводя итоги изложенному, отметим, что экзогенные вводы в динамических моделях следует рассматривать как «проверочные вводы». Сами по себе они не зависят от того, что происходит в модели. Их нельзя использовать для придания большей реальности поведению модели: обычно эффект бывает противоположным. Они являются вводами, взятыми из независимой внешней среды, и используются для того, чтобы установить реакцию изучаемой системы на *предположительные* изменения в этой среде.

[1] См. главы 14 и 15, где рассматривается модель такой промышленной системы.

[1] Вероятно, большинство людей рассматривают помехи как экзогенные вводы, но мы будем считать их эндогенными (внутренними) для любой функции решения, поскольку мы даем определение их количественных характеристик и методов их образования.

Глава 12

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ МОДЕЛИ

Значение модели зависит от того, сколь хорошо она служит решению поставленных задач. Целью динамического моделирования промышленного предприятия является улучшение системы управления. Окончательная проверка соответствия модели этой цели может быть выполнена лишь после того, как будет установлено, что понимать под лучшим управлением. До этого эффективность моделей можно оценить по важности задач, для решения которых она предназначена, и по способности модели предсказать результаты, связанные с вносимыми в систему изменениями. Эффективность модели будет зависеть, во-первых, от широты окружающих систему рамок, во-вторых, от обоснованности выбора переменных и, наконец, от численных значений параметров. Обоснованность модели определяется прежде всего обоснованностью элементов ее структуры и основных правил, которые можно считать установленными в том случае, когда получаемые с помощью модели характеристики соответствуют характеристикам реальной системы. Способность модели предсказывать состояние реальной системы в некоторый определенный момент в будущем не является достаточно убедительным свидетельством полезности модели.

Пригодность (или значимость) модели можно выявить на основании оценки ее соответствия поставленной цели. Модель является правильной и обоснованной только в том случае, когда она выполняет возложенные на нее функции. Это означает, что понятие пригодности модели как абстрактная категория, не связанная с поставленной задачей, лишено смысла. Совершенно очевидно, что модель, которая превосходна для решения одной задачи, может привести к ложным выводам и, следовательно, быть хуже, чем просто бесполезная модель, при решении другой. Возникает вопрос, что же является критерием оценки моделей, рассматриваемых в настоящей книге?

12. 1. Назначение моделей

Динамические модели промышленных предприятий предназначены для содействия проектированию и усовершенствованию промышленных и экономических систем. Как же мы можем оценить, соответствуют ли модели решению таких задач? Конечной проверкой может служить лишь качество системы, полученной в итоге исследований, основанных на анализе модели. Поэтому целесообразно проводить испытания, показывающие пригодность модели для совершенствования управления. Результат любых нововведений в системе управления будет сомнительным, пока эти испытания не будут закончены.

Оценка эффективности усовершенствований в сфере управления будет почти неизменно основываться на субъективных суждениях руководителей относительно полученной ими помощи. Наиболее сложно установить объективную, непредвзятую оценку эффективности проверяемой системы управления, разработанной с помощью модели. Едва ли кто-либо осмелится безапелляционно утверждать, что руководитель предприятия достиг больших успехов благодаря новой методологии, а не за счет здравого смысла и умения, которыми он обладает.

Хотя в конечном счете динамическая модель будет оцениваться по вносимым с ее помощью изменениям в управление системой, они не могут служить частным задачам оценки результатов, получаемых в ходе исследования. Конечные испытания, кроме того, слишком отдаленны, чтобы их использовать в текущей работе. Поэтому мы постараемся изыскать пути, которые могли бы обосновать целесообразность наших действий в ходе выполнения работы.

12. 2. Важность конкретных целей

Если модель предназначена для улучшения промышленной системы, то прежде всего следует проверить, решает ли модель главные задачи и проблемы. Значимость целей наиболее важна при рассмотрении вопроса о полезности модели. Тщательно выполненная и

точная модель окажется малополезной, если она направлена на решение вопросов, которые не являются наиболее существенными с точки зрения повышения эффективности работы предприятия. С другой стороны, простая и даже не очень точная модель может быть чрезвычайно полезной, если она открывает хотя бы незначительные возможности лучше понять главные причины успехов и неудач в организационной деятельности. Примером тому служат наши умозрительные, воображаемые модели. Простые и относительно не очень точные модели, формирующиеся в сознании опытных руководителей, оказались более эффективными в достижении современного уровня индустриализации, чем математические модели, которые используются сейчас в экономике и, в частности, в сфере управления. Рабочую модель руководителя, существующую в форме словесного описания и в его воображении, легче перестроить на решение наиболее важных задач будущего; она в большей степени восприимчива к изменениям реальной организации, чем абстрактная математическая модель, созданная для объяснения явлений, имевших место в прошлом.

Каким образом мы можем установить, что решаются именно главные, первоочередные задачи? Существует ли некоторый формальный критерий, который показал бы, насколько обещающи и выполнимы цели, к осуществлению которых мы стремимся? Ответ на этот вопрос — по крайней мере сегодня — будет отрицательным. Окончательное суждение об эффективности наших усилий, направленных на создание лучшей промышленной системы, опирается на оценку исследователем выбранных нами конкретных целей. Выбор наиболее важных целей зависит от точности понимания особенностей системы и способности учесть их в различных вероятных ситуациях. Мы должны еще раз отметить, что первая и наиболее важная оценка, оценка значимости целей для изучения конкретной динамической модели промышленного предприятия, все еще не имеет под собой объективной основы.

Можем ли мы достигнуть более конкретных решений? Существуют ли более четкие положения о том, что делает модель полезной?

12. 3. Прогнозирование результатов вносимых изменений

Использование рассматриваемых в настоящей книге моделей имеет своей целью определить последствия, которые будут наблюдаться в системе вследствие *изменений* организационных форм или политики управления. Для нас в первую очередь представляют интерес *направления главных изменений* в *характеристиках* [1] системы, которые явятся результатом изменений в структурных взаимосвязях или в политике управления системой. Далее, мы хотим приближенно оценить *количественную сторону* улучшений, которые произойдут в системе. Незначительные улучшения, меньшие по величине некоторого определенного уровня, могут не стоить затраченных на их достижение усилий.

Мы можем теперь рассмотреть некоторые требования, связанные с оценкой способности модели предсказать эффект от вносимых в реальную систему изменений.

Если модель предназначена для определения эффекта от вносимых в реальную систему изменений, то должно существовать соответствие между параметрами и структурой модели, которые подвергаются изменениям, и параметрами и структурой реальной системы. Механизм работы модели должен отображать механизм реальной системы. Кроме того, модель должна выявить сущность интересующих нас динамических характеристик системы; в противном случае она не могла бы показать, как эти характеристики можно изменить.

Как и раньше, нам недостает объективных способов проверить, действительно ли предскажет модель ожидаемые изменения в системе. Убедительным испытанием в этом случае будет проверка соответствия поведения реальной системы тому ее поведению, которое было предсказано моделью. Такое испытание в реальных условиях будет возможным лишь после того, как разработанные на модели изменения будут реализованы и мы будем располагать некоторыми измерениями или наблюдениями за реальной системой после внесения этих изменений. Но что мы должны положить в основу наших суждений сейчас, в ходе испытаний модели, для доказательства того, что работа системы действительно улучшается?

Предположение о значимости модели основывается на двух положениях. Во-первых, уверенность в значимости модели определяется тем, насколько она способна отобразить отдельные организационные особенности и детали

[1] Под «характеристиками» мы понимаем здесь такие показатели работы системы, как прибыльность, условия сбыта, себестоимость, рост предприятия, колебания цен, необходимые капиталовложения, изменения кассового баланса и т. п.

процесса принятия решений реальной системы. Во-вторых, она подтверждается соответствием общего поведения модели и реальной системы.

12. 4. Структура и элементы модели

На протяжении всего изложения методов динамического моделирования предприятия мы подчеркиваем, что обоснованность модели определяется главным образом обоснованностью каждого входящего в нее элемента. Такой способ определения обоснованности применим не только при рассмотрении формы любого из уравнений, но и при выборе границ системы, ее переменных и принимаемых взаимосвязей между этими переменными.

Важность доказательства обоснованности элементов модели опирается на рабочую гипотезу о том, что если все необходимые компоненты адекватны описанным и взаимодействуют соответствующим образом, то поведение модели не будет отличаться от ожидаемого. Обратное положение несправедливо; сочетание значительного числа неверных параметров и ложных структурных элементов может иногда привести к отображению моделью поведения реальной системы; однако эти неадекватные структурные элементы в большинстве случаев не приведут нас к выявлению лучших вариантов системы.

При создании и оценке модели мы должны обобщить все доступное нам многообразие знаний о системе. Большинство этих знаний связано с опытом и памятью людей, которые наблюдают за системой и работают в ней. Большое количество информации содержится также в описательной литературе. Числовые или статистические данные, непосредственно пригодные для решения главных задач построения моделей, известны нам лишь в редких случаях.

Динамическая модель промышленного предприятия строится на основе той же информации и данных, которые обычно используются руководителем для построения воображаемых моделей процесса управления. Дееспособность динамической модели не зависит от получения лучшей информации по сравнению с той, которая имеется у руководителя; она определяется способностью использовать большую часть той же самой информации, и притом использовать ее с большей пользой.

Можем ли мы установить объективные и неоспоримые количественные критерии того, насколько правильно составлена модель? Пригодность модели для описания конкретной системы должна быть проверена в отношении:

— границ системы;
— взаимосвязи переменных;
— значений параметров.

Границы системы. Первым и наиболее важным вопросом при детальном конструировании моделей является вопрос выбора границ модели системы. Как отмечалось ранее, в разделе 12.2, выбор границ определяется поставленными перед моделью целями. Если выбранная для изучения система не содержит ответов на поставленные вопросы, то моделирование будет бесполезным. Если границы взяты неоправданно большими, то полученные решения затеряются в массе мелких подробностей и могут привести к такой путанице, что от задуманного проекта придется отказаться.

Подобно выбору целей, выбор границ системы не может быть выполнен на основании объективно проверенной теории. Необходимо помнить, что применять общепринятые методы и положения следует с большой осторожностью, искусно и со здравым смыслом используя удачный опыт.

Это не означает, что при выборе границ мы находимся в затруднительном положении из-за недостатка фактических данных о реальной системе. Наоборот, нам часто приходится решать вопрос о том, какую часть из располагаемых знаний целесообразно использовать при создании модели. При построении различных моделей мы почти всегда располагаем значительным объемом информации. Однако в этой информации содержится большое число противоречий, которые обычно не могут быть разрешены достаточно объективно. Один человек может разрешить противоречия посредством, на его взгляд, объективного суждения, в то время как другой не примет какого-либо решения до тех пор, пока он не будет располагать результатами проверки в реальных условиях.

Взаимосвязь переменных. Второй наиболее важный вопрос построения модели связан с рациональным выбором переменных модели и с адекватностью их взаимосвязей. В конечном итоге этот выбор также основывается на наших рабочих знаниях о системе. Наиболее сложным является вопрос о выборе функций принятия решений. В значительной степени эти функции относятся к информационным сетям, где правила принятия решений не являются формальными. Для большинства функций принятия решений невозможно получить достоверные числовые данные. Следовательно, модель должна

быть составлена на основании описательной информации о политике управления.

Существует несколько исключений из этого общего положения, для которых оказывается возможным получение некоторых числовых данных. Однако даже эти случаи не могут удовлетворить нас в предпринимаемых попытках сформулировать объективный, определенный в количественном отношении критерий, который необходим нам при создании модели. Численные данные оградят нас от явно ложных гипотез о процессе принятия решений, но в то же время они едва ли помогут доказать корректность других гипотез. Два или три ввода в пункт принятия решений могут объяснить большинство выходов, но какого рода соответствие является удовлетворительным? Ключ к пониманию поведения системы может быть утерян, если влияющая на поток решений информация, передаваемая по каналу положительной обратной связи, заглушается шумами в этом канале. В этом случае информация обратной связи будет в большой степени коррелирована с другими переменными. При проведении статистического анализа сигнал обратной связи может легко пройти незамеченным либо среди случайного шума, либо будучи принятым как часть входного сигнала той или иной переменной.

Далее, сама по себе величина входного сигнала в пункт принятия решения еще не определяет характера динамического поведения системы. Продолжительность действия, фаза и форма сигнала могут в значительной степени превосходить влияние его величины на характер динамических характеристик системы.

Методы объективного анализа еще не дают гарантий того, что переменные выбраны правильно и что их взаимосвязь установлена достаточно точно. Однако мы должны провести негативное испытание — испытание, которое является необходимым, но может не дать само по себе положительного результата. Если полученный при испытании модели поток решений несовместим с гипотезами о процессе принятия решений, то испытание обмануло наши надежды. С другой стороны, выполнение единичного испытания не дает гарантий правильности принятых гипотез. Даже очень близкое совпадение опытных результатов с данными, полученными на основании выдвигаемых гипотез, не дает оснований считать эти гипотезы правильными. Гипотезы, основанные на неверном выборе переменных при соответствующей компенсирующей корректировке значений параметров, могут в результате статистических испытаний дать такие показатели, которые математически покажутся более удовлетворительными, чем в том случае, когда в основу решений заложены более адекватные причинные связи между переменными, но допущены ошибки в значениях параметров; эти ошибки снижают точность получаемых количественных характеристик, но не искажают динамического поведения модели.

Ошибка при включении переменных системы в модель может привести к полной бесполезности модели как орудия исследования. Можно надеяться, что в дальнейшем, когда динамическое поведение системы станет более понятным, возникнут полезные руководящие принципы по выбору содержания модели. А пока необходимо помнить, что наиболее эффективная модель будет создана теми, кто знает реальную систему и в то же время владеет методами анализа динамических систем.

Значения параметров. Третий, менее важный вопрос, который должен быть рассмотрен при оценке эффективности модели, связан с выбором значений параметров. Можно показать, что динамические характеристики системы сравнительно мало изменяются при изменении величин бóльшинства параметров, то есть чувствительность системы к изменению этих параметров мала; поэтому значения таких параметров можно выбирать в известной мере произвольно. Параметры, к изменению которых модель весьма чувствительна, могут быть определены на основании испытаний модели. При этом не так важно знать значения этих параметров в прошлом, как правильно оценить и выбрать эти значения в соответствии с условиями работы системы в будущем.

Численные значения параметров для какой-либо функции принятия решений могут быть определены на основании ряда формальных статистических испытаний. Это выполняется после того, как:

— установлены задачи моделирования;
— определены границы системы;
— произведен выбор основных переменных;
— сформулированы гипотезы, определяющие взаимодействие переменных;
— приняты основанные на произвольных суждениях решения о значениях параметров, удовлетворяющих условиям статистических испытаний.

Затем исследователь должен определить, могут ли выбранные в результате статисти-

ческих испытаний параметры способствовать решению поставленной задачи улучшения действия системы.

12. 5. Динамические характеристики системы

Изолированная (замкнутая) модель динамической системы может воспроизводить временные характеристики, которые в рамках поставленных целей исследования не будут существенно отличаться от динамических характеристик реальной системы. Такое соответствие поведения модели реальным условиям будет результатом сочетания структуры и руководящих правил действия модели, каждый элемент которой построен безотносительно к правильности поведения системы.

Чем больше мелких подробностей в характеристике модели будет согласовываться с имеющимися данными о функционировании системы, тем больше будет наша уверенность в пригодности модели. Однако тождественность характеристик модели и реальной системы не является *сама по себе* доказательством возможности использовать модель для уверенного предсказания ожидаемых результатов от вносимых изменений.

Поскольку подобие модели действительному характеру системы является необходимым (но не достаточным) условием, мы должны рассмотреть, что здесь понимается под подобием. Недостатки поведения модели, особенно на первых этапах ее создания, часто будут сами указывать пути устранения допущенных неточностей и ошибок. На что должны быть направлены наши поиски? Каким образом можно проверить подобие двух систем?

Первая проверка модели состоит в том, чтобы ее поведение не было бесспорно ошибочным. Такая проверка на первый взгляд может показаться элементарной. Однако литература в области экономики и теории управления содержит очень незначительное число примеров моделей, которые удовлетворяли бы этой оценке и, будучи полностью изолированными системами, давали бы такое изменение характеристик во времени, которое соответствовало бы нашим знаниям о реальной системе.

На первой стадии разработки модели неправдоподобность ее действия проявляется с особой очевидностью. Так, например, значения физических величин, таких, как запасы, могут оказаться отрицательными. Потоки некоторых величин, которые по их физической сущности являются однонаправленными, могут изменить направление и двигаться в противоположном направлении. Значения переменных могут выходить за пределы, допустимые в реальных условиях. Эти явления могут иметь место даже тогда, когда структура модели и ее отдельных элементов была тщательно продумана. Причины подобных явлений легко различимы. Детальный анализ изменений значений переменных системы обычно приводит к выводу, что отмеченные явления определяются несоответствием правил принятия решений в модели и в реальной системе. Очень часто оказывается, что в моделируемой системе существуют более жесткие условия, чем были приняты в модели, и правила принятия решений (обычно с нелинейными зависимостями) оказываются неприемлемыми в достаточно широких границах работы системы.

Второй эффективный способ проверки модели состоит в исследовании ее работы при наличии дополнительных заведомо ошибочных или несоответствующих реальной системе условий, например при чрезмерно широких пределах изменения параметров окружающей среды, но в рамках поставленных целей. Эти изменения могут существенно превосходить вероятные значения параметров, когда-либо возможные в системе. Большая часть наших знаний о системе проявляется в форме предвидения того, насколько при возникновении различных критических условий может оказаться неудачной формулировка руководящих правил. Это предвидение, подкрепленное испытаниями модели на «возможное критическое состояние», часто позволяет выявить причины ее ошибочных действий, которые малозаметны в обычных условиях.

Исключив очевидные «неправдоподобности» в модели, перейдем теперь к анализу более сложных явлений. Мы должны сконцентрировать наше внимание на всех динамических характеристиках модели, которые могут быть сопоставлены с характеристиками реальной системы.

Первый шаг обычно заключается в установлении подобия наиболее сомнительных симптомов для модели и реальной системы. Если модель охватывает причины возникающих в системе трудностей, то она выявит те же самые тревожные симптомы этих трудностей, которые характерны для реальной системы даже в тех случаях, когда эти симптомы достаточно удалены от того места, где действует причина трудностей.

Если в системе имеют место колебательные явления, необходимо сравнить период колеба-

ний переменных в модели и в реальной системе. Существенная разница в значениях параметров этих движений указывает на то, что либо неверно определены коэффициенты, либо не учтена при анализе какая-то важная часть системы. Так как большинство людей обычно недооценивает запаздывания при принятии решений и при их осуществлении, то естественные периоды изменения величин в модели будут меньше, чем в реальной системе. Причиной этого чаще бывает упрощение системы, связанное с пренебрежением второстепенными элементами в политике принятия решений и в каналах их реализации, чем вследствие агрегирования переменных (особенно запаздываний) в различных частях системы.

Взаимосвязь смещений фаз различных переменных [1] часто выявляет меру подобия данных, полученных на модели, и данных, характеризующих развитие реальной системы. Однако поскольку эти временные связи фаз зависят как от частоты возмущений, так и от темпов изменения определенных переменных, то они не могут быть бесспорными критериями при сопоставлении модели и реальной системы.

Для выявления соответствия полученного на модели потока решений реальной системе можно проанализировать числовые данные и графики, полученные в результате проигрываний на модели. Если в политике принятия решений, положенных в основу модели, имеются неверные положения, то при некоторых проигрываниях на модели возникнут условия, которые явно не соответствуют действительности. Анализ результатов этих проигрываний может привести к выявлению неучтенных факторов, которыми нельзя пренебречь. Таким образом, существенной проверкой пригодности модели является сопоставление качества принимаемых решений с теми решениями, которые имеют место в моделируемой системе. Это сопоставление должно выполняться для всех точек системы в различные моменты времени. Такую очевидную проверку применил бы всякий для оценки компетенции управляющего.

Со сдвигом по фазе и периодичностью явлений тесно связан характер изменения переменных системы. Реальные промышленные системы существенно отличаются одна от другой характером изменения цен, темпов производства, потоков заказов и других переменных. Модель системы должна давать такие же динамические характеристики, какие существуют в действительности, в реальной системе.

Многие характеристики системы, которые трудно установить в реальных условиях, могут быть выявлены и проанализированы на модели. Очевидно, что эти обнаруженные с помощью модели характеристики не должны противоречить тому, что нам известно о реальной системе. Системы различаются между собой тенденциями усиливать или подавлять внешние возмущения. Это легко можно наблюдать на модели [1], но в реальных условиях об этом можно судить лишь на основании выводов, полученных в результате рассмотрения влияния изолированных возмущений. Подобным образом могут быть проанализированы реакции модели на нелинейные условия [2], и некоторые из них могут служить доказательством пригодности модели, если они согласуются с реакциями реальной системы.

Многие характеристики поведения системы в прошлом могут быть измерены количественно. На этом основании можно сформулировать ряд количественных критериев как основы сравнения результатов работы моделей с данными, полученными в реальных системах. Однако, прежде чем приступать к этому, необходимо решить, по каким показателям следует производить сравнение и различие в значениях каких параметров следует признать существенным. В ряде случаев общая качественная картина развития явления на модели близка действительному протеканию этого явления (часто в пределах, не превышающих двухкратных отклонений). Тогда соответствующей корректировкой параметров отображаемой системы (не выходя за пределы их возможных величин, в соответствии с нашими знаниями о реальной системе) возможно изменить полученные на модели решения до любых желаемых значений. Кроме того, обычно имеется несколько параметров, каждый из которых может привести к ложным результатам. Попытка достичь наибольшего соответствия модели реальной системе не тождественна изысканию рекомендаций с целью создания наилучшей системы. Предполагаемые изменения не зависят от точности наших знаний о системе; в основном они

[1] Например, максимум запасов имеет место после максимумов продажи и производства товаров (см. раздел 14.1).

[1] См. главу 15.

[2] Такие, например, как ограничение производственной мощности (см. рис. 2-4).

определяются взаимосвязями в модели, которые могут дать хорошее приближение к интересующим нас характеристикам системы.

В тех случаях, когда корректировка параметров модели с целью достижения более точного соответствия с системой не приводит к заметному повышению эффективности модели и когда мы не в состоянии отдать предпочтение какой-либо одной из двух различных по структуре моделей вследствие небольшого различия в получаемых на этих моделях решениях, то нет особой необходимости уточнять формулировки определений и измерения. Таким нам представляется существующее сегодня положение вещей. Нет никаких сомнений в том, что в будущем эта точка зрения изменится. Существенные преимущества создания систем с помощью моделей сейчас настолько велики, что пока еще не возникает потребности в более точных инструментах. По мере того как системы управления будут улучшаться и станут нам более понятными, будет появляться потребность в более точных средствах и усовершенствованных инструментах.

Итак, крупные ошибки при создании модели обычно легко выявляются при сопоставлении явно ошибочного поведения модели с тем, что следует ожидать в реальной системе. Если поведение модели недостаточно близко ожидаемому в реальной системе (определение «достаточно близко» зависит от целей модели и существа наблюдаемых различий), то мы должны вновь начать с рассмотрения элементарной структуры системы, ее границ и элементов. Необходимо найти объяснение причин несходства, что позволит исправить поведение модели. Чтобы изменить конкретные характеристики любой модели, необходимо выполнить значительный объем работ; для этого требуется глубокое знание рабочих деталей действительной системы.

12. 6. Модель проектируемой системы

Главной задачей сравнения модели и реальной системы является выявление возможностей отображения поведения существующей системы, подтверждение адекватности основных элементов структуры модели. Уверенность в справедливости основных структурных компонентов системы далее распространяется на остальные компоненты изменяемой системы и затем, в заключение, формулируется основное положение о том, что общие характеристики, полученные на новой модели, являются достоверными и полностью соответствуют характеристикам работы измененной реальной системы.

В большинстве случаев проверка соответствия поведения модели в настоящее время тому ее поведению, которое было предварительно намечено, не является необходимой. Многие параметры и правила системы, которые точно не определены и нет возможности даже ориентировочно их оценить, оказываются очень легко управляемыми [1]. Далее мы, естественно, должны в большей мере проявлять интерес к вопросу о возможности создания новой системы, соответствующей модели, нежели тому, соответствует ли модель прежней системе. В этом случае проверка пригодности модели заключается в установлении возможности управлять реальной системой таким образом, чтобы добиться ее соответствия модели.

Существуют и другие модели, которые в еще большей степени удалены от реальных систем. Подобные модели целесообразно применять при исследовании вопроса о том, что произошло бы, *если бы* реальная система имела такие же характеристики, как и модель. Многое можно понять, изучая системы, которые *могли бы* существовать. Действительно, ведь это блестящее начало экспериментирования на моделях, когда одним из первых шагов является создание такой модели, которая в наибольшей степени соответствует лучшим возможностям и знаниям исследователя. Основное внимание в этом случае уделяется вопросам правдоподобия, но не точности. Обоснование точности выдвинутых предположений является второстепенным и служит цели подчеркнуть, что модель может учить, поскольку она отображает такого *рода* события, которые *могли бы* существовать в действительности. Если модель является достоверной на уровне элементарных действий, осуществляемых в системе, то эта модель будет содействовать более глубокому пониманию динамики больших систем [2]. В этом случае исследования на модели существен-

[1] Это справедливо в случае модели, описанной в главах 14 и 15, где величины времени запаздывания принятия ряда решений было невозможно обосновать, располагая лишь имеющимися данными о старой системе, но их можно легко регулировать при принятии решений в соответствии с формальными правилами.

[2] Это заложено в основу модели, рассмотренной в главах 2 и 13. Эта модель отображает явления в типичной промышленно-сбытовой системе. Она показывает динамическое поведение, характерное для многих систем такого типа, но точно не отражает ни одной из них.

но расширят нашу осведомленность о такого рода факторах, которые в наибольшей степени определяют динамическое поведение системы.

12. 7. Замечания об испытании модели

Приведенный обзор пригодности модели имеет своей основой теоретическое положение, которое, по-видимому, отличается от того, что ранее говорилось по этому вопросу в литературе об управлении и экономике. Приходится сказать «отличается, по-видимому», так как в большей части литературы очень слабо проявляется правильное понимание предпосылок, лежащих в основе утверждений о практической пригодности модели. Для внесения большей ясности в понимание предыдущих разделов этой главы ниже дается анализ некоторых точек зрения, которым противостоит позиция автора настоящей книги. Ни одна из этих точек зрения не имеет большого распространения, но все они так или иначе встречаются в печати или в отдельных высказываниях. Некоторые из них вообще выражены неясно, и их можно лишь подразумевать по тем или иным признакам.

Пригодность независимо от цели. Пригодность и значение модели часто рассматриваются независимо от ее назначения. Однако известно, что о полезности любого явления можно судить лишь при наличии ясного представления о цели. Цель определяет рамки того решения, которое модель должна дать.

Пригодность модели не следует отделять от значения и осуществимости поставленных задач. Очень часто подразумевается либо прямо утверждается, что назначением модели является прогнозирование будущего. Если разумность и полезность цели не доказана, то модель, направленная к этой цели, берется под сомнение.

Другим, часто лишь подразумеваемым назначением модели является «объяснение» поведения действующей системы. Соответственно цель многих таких моделей состоит в «воспроизведении» образа действия системы. Модель, построенная на базе исторических, статистически определяемых связей переменных, могла бы воспроизвести с известным приближением фактическую систему. Однако модель способна объяснить поведение системы лишь в том случае, если твердо установлено, что взаимосвязи переменных модели отражают истинные причины действий реальной системы. Дело в том, что любые данные могут быть достаточно точно выражены графически при помощи кривых. Однако *конечный* результат не даст нам никаких сведений о самом механизме причинности. Это значит, что нельзя быть уверенным в сходстве поведения модели и реальной системы за пределами периода, охваченного фактическими данными, отражающими действие той и другой.

Обоснование процедуры испытаний. Любая «объективная» процедура определения пригодности модели основывается в конечном счете на допущении или вере в то, что сама процедура или поставленные перед ней задачи вполне приемлемы без каких-либо объективных доказательств.

В исследованиях статистического значения обычно считается само собой разумеющимся, что сама «мера значения» является значительной. И все же очень часто нет ответа на вопрос, что же в самом деле является достаточно правильным, так как результат «объективного» исследования не сопоставляется с целью [1].

Многие будут возражать против изложенных ранее способов определения пригодности модели в зависимости от субъективной оценки. Все же по ряду пунктов «объективные» методы основываются именно на этих положениях. Объективные методы полезны, если они основаны на здоровых началах и если критерии пригодности могут быть предварительно проверены с помощью какой-либо промежуточной количественной процедуры. Существует опасность, однако, что эта количественная процедура может дать лишь видимость достоверности. Тогда этот метод испытания превращается в псевдонаучный ритуал. Принятые предположения, основанные на суждениях или просто

[1] В качестве иллюстрации можно привести пример семинара, на котором рассматривалась гипотеза о функции решения. Выбранная функция относилась к низшим ступеням управленческой иерархии. Ее выбор был обусловлен наличием исторических данных. В 90% случаев эти данные подтверждали гипотезу. Поэтому гипотеза считалась справедливой. Однако докладчик не смог ответить на вопрос о действительной доброкачественности функции решения, а также на вопрос, не слишком ли много затрачено усилий для того, чтобы сделать ее доброкачественной (область исследования была весьма обширной). Ведь не существует критерия, при помощи которого можно было бы определить пригодность самого метода испытания пригодности. Поэтому в действительности было лишь отмечено, что процедура решения в реальных условиях не является случайным процессом. Вряд ли найдется кто-либо, утверждающий обратное.

на вере, могут быть забыты, а объективное испытание, вполне пригодное для первоначальной цели, может быть применено в совершенно другой области, где оно окажется бесполезным или ошибочным.

Прогноз будущего состояния системы. Модель выражает «закон поведения» системы. Поэтому она стремится объединить в себе все то, что другими способами не было связано и могло бы давать противоречивую информацию. Можно ожидать, что в пределах сферы действия этого закона модель прогнозирует будущее действительное поведение системы, если оно на самом деле управляется «законом». В данном случае следует проявить особую осторожность при определении и истолковании «закона», выражаемого моделью. Мы судим о пригодности модели, сравнивая ее прогнозы с наблюдениями над поведением системы, которую она представляет. В чем же выражается этот прогноз, каким образом можно сравнить модель с действительно существующей системой?

В качестве примера того, чем мы не располагаем в общественных системах, можно взять солнечную систему, которая представляет собой группу тел, поведение которых зависит от очень небольшого числа основных сил (инерционные силы и силы тяготения). Это «открытая» система; она не является информационной системой с обратной связью, в которой действуют силы, могущие заставить какую-либо планету вернуться к своей первоначальной орбите, если последняя нарушена прохождением какого-либо постороннего небесного тела. Это система, в которой силы, не объясняемые первичными законами (инерцией и тяготением), бесконечно малы по сравнению с главными силами. Это система, чье особое состояние в будущем представляет для нас интерес. Это система, чье *особое состояние* в будущем не изменится от того, что оно стало в значительной мере известным.

Признанная полезной модель солнечной системы предсказывает *время предстоящих явлений*, например восход солнца, смену времен года, лунные затмения. Полезность модели заключается в ее способности предсказывать это; точность прогнозов измеряется величиной расхождения во времени и пространстве между прогнозом и наблюдениями действительности.

Очень часто аналогичные способы испытания пригодности применяются к моделям общественных систем без достаточной критической проверки, являются ли цели и основания достаточно пригодными. Прежде чем применить к экономической или промышленной модели способ ее испытания на прогнозирующую способность, следует поставить ряд вопросов. Присуще ли модели предсказывать особые события? Имеются ли основания полагать, что такая задача выполнима? Является ли это наиболее эффективным способом использования модели? Достаточно ли независима система в самом процессе прогнозирования?

Экономические системы существенно отличаются от солнечной системы. Поведение экономических систем определяется тем, что они относятся к числу информационных систем с обратной связью, в то время как солнечная система представляет собой открытую конечную систему. Нет никаких оснований предполагать, что и природа и цели моделей являются заведомо идентичными. Поведение информационных систем с обратной связью таково, что в них решения определенных задач постоянно соответствуют состоянию самой системы, поскольку внешние отклоняющие воздействия возбуждают внутри системы замкнутые реакции, восстанавливающие движение к цели.

В экономической системе имеются значительные «шумы» (помехи), которые нельзя объяснить действием каких-то гипотетических законов. Влияние этих неизвестных шумов часто бывает соизмеримо с влиянием закономерных сил. Это значит, что система в будущем может быть подвержена всякого рода отклонениям под влиянием этих неопределенных факторов.

Даже при наличии вполне устойчивой организационной структуры, правил и реакций людей, определяющих главные динамические характеристики системы, нельзя представить себе столь *совершенную* модель, чтобы в ней была бы *доподлинно* известна любая взаимосвязь. Поэтому приходится иметь дело с моделями, в которых *каждая* функция решения, по крайней мере в принципе, содержит шум или некоторый неопределенный компонент. Истинная природа этого шума неизвестна, первопричина его не обнаружена. (Мы можем иметь лишь данные о его величине и некоторые статистические характеристики.) Компоненты шумов используются в модели так же, как и другие ее составные части. Структура и характеристики модели определяют природу ее реакции на эти шумы.

Не располагая данными о мгновенном значении шумов, все же можно исследовать *характер* поведения системы, учитывая ее чувстви-

тельность к вводам шумов. В модели точное поведение переменных во времени зависит не только от ее структуры и первоначального значения переменных, но также от этого неизвестного шума. Поэтому отношение определенных факторов к неопределенным выражает способность модели предсказать состояние системы в некоторый будущий период времени.

В результате рассмотрения сущности компонентов социальных систем и их структуры может оказаться, что нам не следует рассчитывать на быстрое создание модели, которая была бы полезной для прогнозирования состояния системы в будущем. Такого рода прогнозирование будущего состояния возможно лишь в той мере, в какой точно известные законы поведения доминируют над неизвестными шумами. В модели солнечной системы неопределенные силы воздействия на планеты бесконечно малы по сравнению с уже известными силами. В отношении социальных систем этого сказать нельзя.

Взаимоотношения между структурой, шумами и прогнозами будущего состояния системы могут быть с исчерпывающей полнотой продемонстрированы путем экспериментирования с моделью. Пусть имеются две идентичные модели, которые содержат шумы в одном или нескольких пунктах принятия решений, и пусть эти модели представляют соответственно «действительную» систему и «модель» этой «действительной» системы. Предположим, что модель идентична по структуре и другим параметрам «действительной» системе и даже имеет те же статистические характеристики источников шумов. Что же касается мгновенных значений шумов, то они неизвестны и отличаются друг от друга. По мере отхода с течением времени от первоначальных условий обе модели начнут расходиться в числовом значении переменных, образуемых моделями. Вскоре не останется явного мгновенного подобия между значениями соответствующих переменных обеих систем [1]. Однако в течение длительного времени обе системы обнаружат один и тот же общий тип поведения. Хотя в определенный момент будущего «модель» может не оказаться полезной для прогноза условий идентичной «действительной» системы, характер ее действия окажется таким же. У нее будет такой же характер и степень чувствительности к связанным с шумами возмущениям. Более того, характер как «модели», так и «действительной» системы окажется зависящим от структуры и коэффициентов системы. «Модель» может быть использована для прогноза такого изменения «действительной» системы, которое сделало бы последнюю более желательной даже при наличии шумов, исключающих возможность прогноза особых состояний системы в будущем.

Мы будем полагать поэтому, что динамическая модель системы отображает и прогнозирует поведение таких характеристик действительной системы, как прибыльность, устойчивость занятости и цен, тенденция к дальнейшему росту, типичные смещения фаз в изменении переменных и т. п., и в то же время не может дать прогноз будущего состояния системы, кроме того случая, когда система имеет непрерывные и не склонные к быстрым изменениям характеристики, которые способствуют стабильности условий и тенденций в системе в течение некоторого времени, несмотря на возмущающие шумы.

Действительно, одной из характерных особенностей системы, о которой можно судить по ее модели, является свойственная ей ограниченная способность к прогнозированию. Используя модель, мы должны получить возможность исследовать то, что по аналогии с линейной системой в технике называется «полем допуска». В нелинейных системах это понятие неопределенное, но оно заключает в себе характеристику степени устойчивости тренда [1] и цикличности, а также быстроту, с которой они могут быть изменены под влиянием случайных факторов. Чем уже поле допуска в поведении любого компонента системы, тем длительнее этот компонент может противостоять изменениям. Совершенно ясно, что в действительности в области управления и экономики мы имеем дело с системами с большим полем допуска, в которых компоненты шумов в большой степени определяют состояние системы в будущем даже в том случае, когда действие шумов кратковременно и составляет лишь часть цикла. У нелинейных систем в разное время, надо полагать, имеются различные поля допусков; таким образом, уязвимость систем изменяется вместе с изменением их состояния.

Определенность системы в смысле воспроизведения прошлого и настоящего в будущем

[1] Для системы, рассмотренной в главе 2, расхождения между «моделью» и «действительной» системой станут ощутимыми только через несколько недель после идентичного исходного состояния.

[1] Таким термином обозначается устойчивое направление изменений или тенденция развития статистически изучаемой динамики явлений.— *Прим. ред.*

будет зависеть от степени ее устойчивости. Система с сильными и неустойчивыми тенденциями к колебаниям легче поддается прогнозированию после ближайшего цикла возмущения, чем более устойчивая по природе система, в которой колебания в значительной мере зависят от шумов, причинно не связанных с поведением самой системы.

Взаимосвязь между шумами, руководящими правилами, данными наблюдений, поведением характеристик системы и прогнозами может быть проиллюстрирована путем чрезвычайно простой аналогии с игрой «орел или решка». Здесь обычно доминируют неизвестные и неуправляемые силы, определяющие сторону монеты, которая окажется сверху. Нельзя точно предсказать результат каждого подбрасывания монеты. Что же касается прогноза на основании статистических данных, то он будет зависеть от принятой модели поведения системы. Модель процесса в этом случае будет иметь дело с результатами весьма длительного действия, а не с отдельными событиями в каждый данный момент, которыми управляют случайные силы. Предположим, что поведение системы, в которой каждое событие не зависит от прошлого и является следствием неуправляемых сил, нам не нравится. Возможно ли внести в систему такие изменения, которые повлияли бы на характер результатов?

Обычный эксперимент с подбрасыванием монеты подразумевает наличие следующих правил и структуры системы:

— существует лицо или приспособление, подбрасывающее монету;
— монета подбрасывается;
— существует лицо или способ для наблюдения и регистрации положения монеты;
— монета осматривается, когда она на столе, а не в руке человека, подбрасывающего ее;
— монета осматривается вновь лишь в том случае, если после последнего осмотра сделан новый подброс.

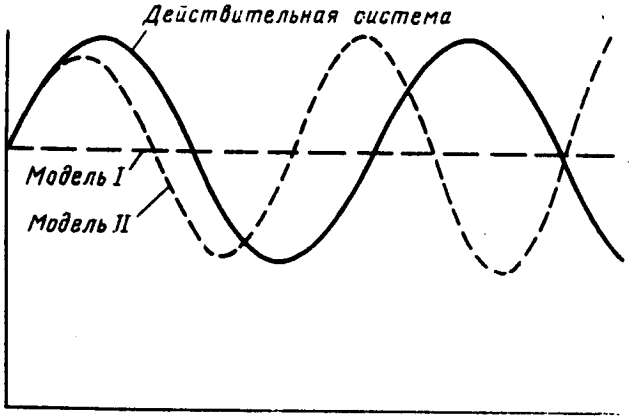
Поведение системы существенным образом изменится, если какое-либо из руководящих правил будет нарушено. Размах колебаний системы зависит от частоты подбрасывания монеты. Если осмотр делается чаще, чем подбрасывается монета, или если эти два действия производятся со случайными интервалами, то появляется некоторая возможность предсказания определенного исхода, так как возникает вероятность, что монета между двумя осмотрами не будет подброшена. Чувствительность системы к неуправляемым влияниям может быть уменьшена (в данном случае до полной нечувствительности) путем изменения второго условия в том смысле, что монета совсем не будет подбрасываться. Монета является тем пунктом, в котором проявляются все признаки поведения системы. Как и в системе управления, эти признаки возникают и зависят от руководящих правил и структуры системы, которая охватывает не только тот пункт, в котором эти признаки могут быть наблюдаемы, но и другие пункты.

Если наблюдения в системе управления следуют непосредственно одно за другим, то нельзя ожидать сколько-нибудь заметных изменений в интервале между ними, так же как при неоднократном осмотре монеты между смежными бросками нельзя обнаружить никаких изменений в ее положении. Если попытаться предсказывать будущее, заглядывая все дальше и дальше вперед, настоящее быстро теряет свое значение, а привходящие случайные явления приобретают все большее регулирующее влияние. Быстрота, с которой ослабевает способность по-настоящему воздействовать на будущее, зависит от структуры и руководящих правил системы, а также от того, что именно предсказывается. Например, можно не поверить предсказанию о дне, когда будет иметь место наиболее низкая точка очередного экономического спада в пределах одного месяца, и в то же время признать полностью вероятным предсказание о среднем темпе экономического роста на ближайшее десятилетие при двукратном отклонении в обе стороны от среднего темпа. Желаемая точность (чувствительность системы к шумам в условиях конкретного случая) и ожидаемая продолжительность сохранения прошлых условий (которую мы характеризуем как поле допуска) определяют эту уверенность.

Несложная иллюстрация (см. рис. 12-1) помогает понять различие между прогнозом поведения *характеристик* и прогнозом состояния системы в какое-то определенное будущее время. Пусть в реальной системе имеется переменная, которая ведет себя как синусоида, изображенная сплошной линией. Соответствующие переменные двух моделей, из которых каждая должна представлять действительную систему, изображаются: первая в виде горизонтальной прямой, вторая в виде синусоиды с медленно возрастающей амплитудой и периодом, несколько

более коротким, чем у переменной действительной системы. Которая из моделей лучшая? Ответ зависит от применяемого способа испытания и назначения модели.

Предположим, что модель призвана служить средством прогнозирования состояния действительной системы в течение какого-то определенного будущего периода. В качестве критерия точности прогноза берется среднее значение



Р и с. 12-1. Критерий пригодности модели.

суммы квадратов разностей величин для модели и действительной системы, взятым за ряд близко стоящих друг к другу периодов времени. (Такой критерий является общепринятым, обычно он выбирается произвольно, без подтверждения его полезности, главным образом потому, что он очень прост с точки зрения математических вычислений).

При таком способе испытания первая модель, переменная которой, представляющая действительную систему, изображается прямой линией, обладает лучшей прогнозирующей способностью, так как ошибка окажется меньше, чем в случае использования второй модели.

Однако несмотря на то, что первая модель с точки зрения приведенного выше произвольного критерия способна лучше предсказать будущее состояние системы, нельзя ожидать, что с ее помощью можно будет обнаружить способы реконструкции действительной системы с целью изменения ее действия. Первая модель не дает представления о характерных колебаниях системы. Она исключает возможность проведения необходимой проверки собственной динамичности, подобной динамичности действительной системы. Поэтому можно сделать заключение о ее непригодности, так как она не способна воспроизвести похожую на синусоиду линию поведения, сходную с той, которая присуща действительной системе.

Рассмотрим вторую модель (рис. 12-1). Предположим, что ее структура и руководящие правила не встречают серьезных возражений. Дает ли она представление о динамическом характере, сходном с поведением действительной системы? Налицо преобладающий синусоидальный характер изменений. Период колебания у модели короче, чем у действительной системы, но всего лишь на 25%. Коэффициент отклонения (отмечающий тенденцию колебания к возрастанию или затуханию) представляет собой незначительную отрицательную величину, мало отличающуюся от нулевого значения фактической системы. Поскольку вторая модель и действительная система имеют похожие амплитуды, период и коэффициент отклонения, следует признать, что эта модель может быть использована для отображения действительной системы. Выполненный анализ имеет смысл только потому, что мы верим в *независимость* причинных взаимосвязей действительной системы, которые представлены в механизме модели. Множество различных деталей модели, не имеющих подобия в реальной системе, могут быть скомпонованы так, чтобы воспроизвести кривую второй модели на рис. 12-1. Убеждение в пригодности этой модели как экспериментального инструмента для изучения результатов изменения структуры и руководящих правил действия реальной системы может быть основано только на уверенности в отдельных компонентах модели и на том, что в совокупности они отражают интересующие нас стороны поведения моделируемой системы.

Что же касается модели, которая смогла бы прогнозировать состояние действительной системы в определенный момент будущего, то здесь отметим следующее. Экономические и промышленные системы даже в первом грубом приближении не смогут быть независимыми от процесса действительного прогнозирования состояния системы в далеком будущем. Прогнозы необходимы, как руководство к действиям, которые будут иметь место в моделируемой системе. Действия, предпринятые в результате прогноза, непосредственно повлияют на поток событий, которые и были объектом прогноза. Удачная модель для предсказания будущего состояния предприятия или экономической системы не сможет оставаться независимой от этой системы, за исключением такого случая, когда ее предсказание окажется ошибочным. Если бы появи-

лась модель, *обладающая несомненной способностью* предсказывать будущее какой-либо социальной системы, то, будучи приведена в действие, она упразднила бы саму себя.

«Процедура прогнозирования» может рассматриваться лишь как правило выработки решения и должна, подобно всем другим правилам, занимать свое место в системе. Она имеет прямое отношение к действиям, которые явятся результатом «предсказания». Эта процедура, следовательно, не существует отдельно. Она становится составной частью более развернутой модели всей системы и участвует в формировании динамического характера поведения системы как целого.

Примерно то же самое можно сказать о динамических моделях промышленных предприятий. По мере того как они становятся все более общепонятными и если при этом они достаточно эффективны как основа для усовершенствования системы, они включаются в арсенал конкурирующих методов, существование которых влияет на представляемые ими системы. Различие между разными методами может заключаться в быстроте их воздействия. Надежный прогноз самостоятельного события, например увеличения продаж, воспринимается значительно легче, и реакция на него происходит быстрее, чем реакция на прогноз, согласно которому некоторое изменение образа действий фирмы усилит вероятность увеличения продаж.

Именно поэтому нельзя забывать о воздействии, которое оказывает изучение поведения системы на изучаемую систему. Опыт показывает, что гипотеза о правилах принятия какого-либо решения, если она рассматривается как часть модели системы, раскрывающей смысл гипотезы, начинает немедленно воздействовать на действительную систему. Вопросы, которые нужно поставить для того, чтобы получить информацию о какой-либо организации и ее руководителях, заставляют людей пересматривать свое отношение к делу. Исследователь, моделирующий систему (если ему необходимо сравнить в той или иной мере свою модель с действительностью), должен помнить, что он сам уже становится частью изучаемой системы. Чем больше работники изучаемой системы знают о целях и возможных результатах исследования, тем сильнее процесс исследования воздействует на них. Из этого не вытекает, что цели изучения системы следует утаить. Это лишь означает, что исследователь должен быть чутким к тем изменениям структуры системы и руководящих правил, которые могут произойти исключительно в силу того, что система подверглась изучению. При некоторых обстоятельствах это воздействие может оказаться достаточно сильным, чтобы существенным образом повлиять на динамические характеристики системы прежде, чем будут достигнуты даже чисто формальные результаты исследования.

Глава 13

МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННО-СБЫТОВОЙ СИСТЕМЫ, ОПИСАННОЙ В ГЛАВЕ 2

В настоящей главе рассматривается пример создания математической модели промышленной системы в условиях, когда определены задачи моделирования и дано словесное описание системы. Это достаточно простой пример, поскольку в нем мало неопределенных факторов. Производство, оптовая и розничная торговля, а также начальные условия, характеризующие исходное состояние системы, отображены с помощью совокупности 73 уравнений. Результаты проигрываний модели, описанной в главе 2, излагаются здесь более подробно; при этом устанавливается, как менялась модель с каждым новым проигрыванием.

В данной главе выводятся уравнения, описывающие производственно-сбытовую систему, рассмотренную в главе 2. Первая, простейшая модель иллюстрирует применение большей части общих принципов, установленных в главах 3—12. В этом примере рассматривается несколько важнейших информационных и материальных потоков, свойственных типичной производственно-сбытовой системе. Хотя система имеет по существу обобщенный характер и может отражать множество различных ситуаций, читателю удобней рассматривать пример, относящийся к производству и сбыту каких-либо определенных товаров длительного пользования, например бытовых электроприборов.

Мы начинаем с модели производственно-сбытовой системы отчасти потому, что ее легче описать, чем другие области экономической деятельности, отчасти вследствие того, что вероятный образ действия и мотивы принятия важнейших решений здесь более очевидны; кроме того, мы учитываем, что производство и сбыт составляют главные задачи промышленных фирм. Поскольку взаимоотношения производства и сбыта относительно просты, при первоначальном построении уравнений можно более подробно остановиться на методике и технике и меньше внимания уделить обоснованию гипотез о самих действиях фирмы.

13. 1. Цели

При создании полезной динамической модели хозяйственного комплекса очень важно ясно представлять себе цель построения модели. Только зная вопросы, на которые надо получить ответ, можно с уверенностью судить о том, следует ли учитывать тот или иной фактор при построении модели.

Мы определяем нашу ближайшую цель, как исследование возможных колебаний или неустойчивости поведения системы, вытекающих из основных организационных взаимоотношений и правил управления предприятием, оптовой и розничной торговлей. Мы будем исследовать, каким образом простейшее структурное ядро системы обнаруживает тенденцию усугублять или видоизменять влияние внешних возмущений.

Ввиду значительного влияния временных запаздываний на нестабильность информационных систем с обратной связью необходимо проанализировать основные запаздывания в потоках заказов и материалов.

Необходимо учесть и подвергнуть систематизации источники различных усилений, поскольку влияние их на динамику всей системы может оказаться решающим. В рассматриваемом простом примере причина такого усиления может быть обнаружена в факторах, которыми обусловлено возникновение заказов на пополнение запаса. Исходящие заказы от какого-либо звена системы, направленные на восстановление запасов в этом звене, не обязательно равны входящим заказам, которые определяют собой предстоящие продажи. Различные факторы могут усиливать колебания темпа потока заказов.

Первым усиливающим фактором является необходимость заполнения каналов рассматриваемой системы заказами и товарами в соответствии с уровнем деловой активности. Увели-

чение темпа продаж требует соответствующего увеличения размещаемых заказов, чтобы сохранить установленный уровень запасов. Кроме того, повышенный уровень деловой активности требует увеличения числа движущихся по каналам заказов. Чтобы заполнить каналы этими заказами, а также товарами, требуется кратковременное дополнительное увеличение темпа исходящих заказов; в противном случае запасы товаров будут уменьшаться до тех пор, пока не будут удовлетворены потребности транспортных каналов.

Второй усиливающий фактор связан с обычной политикой регулирования запасов. Можно констатировать, что при увеличении темпа продаж возникает желание повысить уровень запаса. Это увеличение запаса может быть осуществлено только за счет временного размещения дополнительных заказов сверх того их количества, которое необходимо для обеспечения установившегося темпа продаж.

Такие усиливающие факторы действуют точно так же и в обратном направлении, вызывая более быстрое сокращение заказов, направленных на восстановление запасов, по сравнению с уменьшением темпа продаж.

Если при выборе решений мы будем учитывать наблюдаемые тенденции и прогнозы, то это также может привести к еще большему усилению в системе и увеличению ее нестабильности. Этот вопрос сам по себе весьма важен, это — «надстройка», которая легко может быть добавлена после того, как мы поймем основную структуру нашей системы. Прогнозы будут поэтому пока отложены на будущее.

Как правило, в исследованиях, аналогичных предпринимаемому, следует начинать с анализа системы, достаточно полной для того, чтобы содержать в себе основные, представляющие интерес динамические проблемы. На первых порах, однако, исследование системы должно быть ограничено изучением принципиальной схемы и важнейших ее проявлений, иначе маловажные детали затемнят те главные результаты, которые могут быть получены при анализе. Расширить границы системы и обогатить ее внутренними деталями можно будет позднее, когда мы научимся ориентироваться в более сложных ситуациях.

13. 2. Круг рассматриваемых вопросов

В главе 5 деятельность промышленного предприятия была отображена с помощью потоков в шести взаимодействующих сетях: материалов, заказов, денежных средств, рабочей силы, оборудования и информации.

Можно ли пренебречь некоторыми из них, не лишая предварительное изучение системы целесообразности? Очевидно, что анализ производства и сбыта невозможен без учета потока материалов. Потоки материалов регулируются заказами, которые возникают в результате решений, основанных на информации о запасах материалов и о темпе продажи товаров. Следовательно, мы должны включать в модель те части сетей информации и заказов, которые непосредственно связаны с сетью материалов [1].

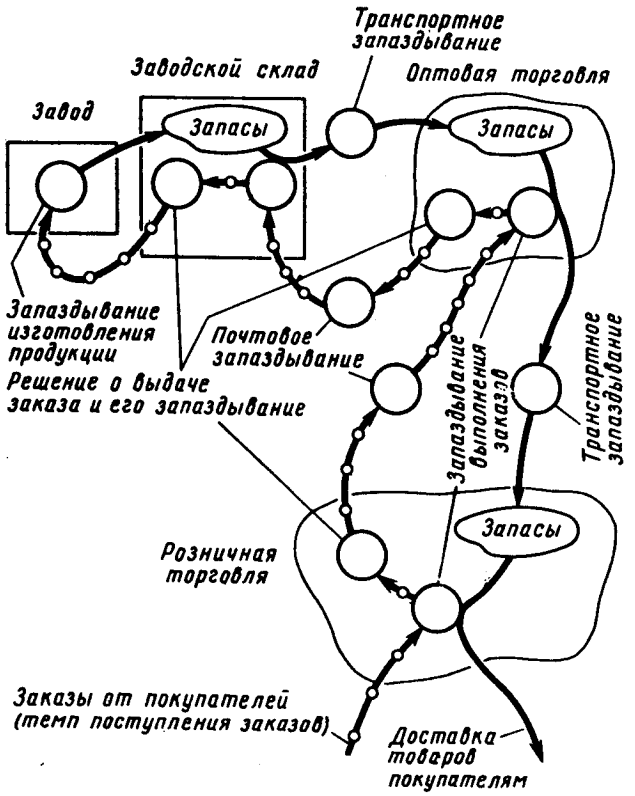
Поток денежных средств служит для отображения совершённых сделок. Обычно он не является главным, определяющим фактором при принятии решений, связанных с производством и сбытом. Только в организациях, находящихся в крайне неблагоприятных условиях, у которых кассовая наличность и возможность получения кредита крайне ограничены, состояние сети денежных средств могло бы, в отличие от «нормальной» системы, ограничивать свободу при выборе решения. Можно предположить, что состояние сети денежных средств могло бы повлиять на принятие решений и в другом крайнем случае, когда высокая прибыльность в одном из звеньев системы будет привлекать конкурентов, что поведет к увеличению производственных мощностей в этом звене и вызовет затруднения, оказывающие понижающее воздействие на цены. В рассматриваемом примере, когда мы имеем в виду промышленное предприятие, характерные особенности которого не меняются сколь-нибудь заметно в течение короткого промежутка времени под влиянием высоких прибылей или убытков, разумно исключить поток денежных средств и соображения о прибыли из исходной модели. Это означает, что мы имеем дело с промышленным

[1] Некоторые из читателей могут посчитать нереалистичным пренебрежение прогнозами экономических изменений и спроса при решении вопроса о размещении заказов. В связи с этим заметим, что влияние таких прогнозов редко бывает определяющим в течение длительного времени, если они идут вразрез с фактическим состоянием продажи товаров и их запасов. Методы прогнозирования можно будет рассмотреть позднее, когда будут поняты более важные части системы. К тому же разрабатываемая здесь модель может быть истолкована как реакция системы на отклонение реального спроса от предсказанного. Применение некоторых форм прогнозов само собой подразумевается при принятии любого решения. В данном случае подразумевается использование прогноза о сохранении существующего среднего темпа продаж, поскольку более детально этот вопрос не прорабатывается.

предприятием в «зрелый» период его жизненного цикла и в течение столь короткого интервала времени, что характерные черты структуры предприятия и руководящих принципов его деятельности не подвержены изменениям под влиянием прибылей или располагаемой кассовой наличности. Позднее можно будет снять это ограничение, что даст возможность изучить влияние финансовых факторов на рост новой фирмы и проследить на единой модели за изменениями в структуре и деловой политике предприятия за весь период его развития [1].

В начальной стадии представляется целесообразным пренебречь также потоками рабочей силы и оборудования, поскольку существуют вполне правдоподобные и представляющие интерес ситуации, в которых трудовые ресурсы и производительность располагаемого оборудования не являются теми факторами, которые в первую очередь регулируют деятельность промышленного предприятия.

Итак, теперь мы сосредоточим внимание на главном потоке материалов — от предприятия к потребителю и на основном потоке информации, который движется в форме заказов от потребителей к предприятию. Структура системы, показанная на рис. 13-1, в общих чертах определяет проблему, которую мы решили рассмотреть. При анализе системы будут учитываться только наиболее резко выраженные и очевидные влияния; к деталям можно будет перейти позднее. Главная задача на первых порах состоит не в том, чтобы достигнуть полного отражения всех происходящих в системе явлений, а скорее в том, чтобы продемонстрировать метод анализа и понять, как отражаются на поведении системы организационные формы, запаздывания и руководящие правила.



Р и с. 13-1. Схема организации производственно-сбытовой системы.

13. 3. Факторы, которые должны быть включены в модель

Три рассматриваемых звена: розничная торговля, оптовая торговля и производство — очень сходны между собой. Мы начнем с построения таких уравнений, которые, по нашему мнению, представляют наибольший интерес при отображении в модели розничной торговли.

Перечислим прежде всего важнейшие из интересующих нас переменных, чтобы сосредоточить внимание на наиболее существенных факторах. Согласно определению, данному в главе 5, переменные могут быть разделены на два больших класса в зависимости от того, что они определяют — уровни или темпы. Кроме того, для большей наглядности с целью отображения понятий, важных для описания коммерческой системы, в уравнения часто вводятся вспомогательные переменные (они могут быть исключены из уравнений темпов путем соответствующих подстановок).

Уровни представляют собой переменные, величину которых можно было бы определить и в том случае, если бы система была приведена в состояние покоя. Уровни характеризуют состояние материальных запасов, численность работающих, невыполненные заказы, имеющееся в наличии оборудование, банковскую наличность, пересылаемые по каналам заказы, товары в пути и неудовлетворенную потребность в рабочей силе. Как мы увидим позже, некоторые другие переменные, которые на первый взгляд могут показаться относящимися к темпам, являются на самом деле уровнями. К ним относятся средние темпы. Мы говорим о «сред-

[1] См. главу 16.

нем уровне продаж в течение прошлого года». Употребление слова «уровень» в такой фразе является уже привычным. Позже мы увидим, что уравнения среднего темпа продажи имеют ту же математическую форму, что и уравнения, описывающие уровни. Кроме того, средний темп не представляет в какой-либо момент времени действительный мгновенный поток заказов или товаров. Он не является действительным темпом потока, поступающего в какой-либо резервуар или направленного из него. Вообще размерность (единица измерения) переменной, как это уже отмечалось в главе 5, не служит однозначным указанием на то, является ли данная величина темпом, уровнем или вспомогательной переменной.

Необходимо также перечислить все *темпы* потока, которые мы считаем важными в системе. Имеется в виду, что мы перечисляем наиболее важные решения, как явные, так и неявные; эти решения регулируют темпы потоков, но для первоначального описания системы часто бывает более полезно оперировать понятием темпов, а не соответствующих решений.

Кроме уровней и темпов, мы должны вначале перечислить также существенные *запаздывания*, которые, как мы полагаем, влияют на поведение системы. Запаздывания характеризуются уравнениями того же вида, как уровни и темпы; однако при анализе структуры системы запаздывания целесообразно выделить в отдельную группу.

При анализе новой реальной ситуации, возникающей в изучаемой системе, иногда могут понадобиться многие месяцы для экспериментального выявления наиболее существенных переменных, описания некоторых из них уравнениями и для отбора факторов, которые должны быть учтены при создании модели. Объем книги недостаточен для того, чтобы попытаться проследить все шаги, которые были проделаны для вывода уравнений. Мы воспользуемся поэтому теми преимуществами, которые дает нам известный заранее результат, и перейдем прямо к перечислению основных переменных.

Для розничной торговли наиболее важными являются следующие *уровни*, связанные с потоками в каналах заказов, информации и материалов:

— задолженность по полученным от покупателей, но еще не выполненным заказам;
— запасы товаров на складах;
— средний темп продаж товаров за последнее время, с учетом которого решается вопрос о желаемом уровне товаров в запасе и в каналах системы.

Так как денежные средства, рабочая сила и оборудование пока не учитываются (мы предполагаем, что они имеются в достаточном количестве, так что не ограничивают действий системы), то нет необходимости перечислять соответствующие уровни.

Наиболее важными для решения сформулированных выше задач будут следующие *темпы* потоков:

— темп поступающего от покупателей потока заказов;
— темп отправки товаров покупателям;
— темп исходящего из розницы потока заказов оптовым базам;
— темп получения товаров от оптовых баз.

При создании модели рассматриваются следующие основные *запаздывания* в темпах перечисленных потоков:

— запаздывание выполнения заказов покупателей розницей;
— запаздывание принятия решения и подготовки исходящих заказов оптовым базам;
— запаздывание при пересылке заказов по почте из розничного звена в оптовое;
— запаздывание при доставке товаров с оптовых баз в розничную торговлю.

13. 4. Основа для составления уравнений

Мы можем теперь составить уравнения, описывающие деловую активность в розничной торговле. Нужно отметить, что эти уравнения в некоторых отношениях не являются «правильными» как по существу, так и по математической форме. Они просто описывают те взаимосвязи, которые мы признали наиболее важными. Эти уравнения сродни словесному описанию системы; они правильны в той мере, в какой правильно наше понимание системы, и ошибочны в той степени, в какой ошибочно наше представление об описываемой организации.

Мы не считаем, что учли уже все важные факторы. Мы лишь надеемся отобрать факторы, которые наиболее сильно влияют в пределах установленных границ изучаемой системы. Наши предположения о том, как выбранные факторы воздействуют друг на друга, должны быть правдоподобны. Они должны представлять интерес для исследователя. Они могут отражать его оценку существующей системы или характе-

ристику какой-то предполагаемой, гипотетической системы, поведение которой должно быть исследовано. Предположения, подразумеваемые при формулировке системы, должны быть с точки зрения исследователя обоснованными. В общем полезность модели зависит от того, насколько разумны и уместны отдельные уравнения. Решающая важность обоснованности лежащих в основе модели предположений при ее проверке в целом уже рассматривалась в главе 12.

Если существуют противоречивые предположения об истинной природе системы, то сама модель может быть использована для изучения влияния альтернативных предположений. При этом часто выясняется, что различные предположения ведут, по существу, к одним и тем же результатам; в этом случае может быть принято любое из таких предположений. При некоторых предположениях, как будет показано далее, действие системы становится критическим. После того как установлено большое значение выбора наиболее важных факторов, можно приступить к сбору подробных данных в реальной организации. Эту дорогостоящую работу следует сосредоточить там, где ожидается получение наиболее полезных результатов.

В данной главе подход к отбору факторов из числа многих, имеющих место в реальной жизни, будет объяснен лишь настолько, чтобы читатель мог видеть, почему именно такие факторы были выбраны. И хотя нам кажется, что именно выбранные факторы составляют основу обычных взаимоотношений в рассматриваемой системе, основная цель данной главы состоит не в том, чтобы обосновать этот выбор, а чтобы продемонстрировать метод анализа системы. Если читатель поймет метод, он может затем осуществить по своему усмотрению выбор основных факторов, влияющих на деятельность системы.

В этом примере мы введем обозначение каждой из изучаемых переменных и параметров группой из трех букв. Для розничной торговли третьей буквой в каждой группе будет *R*. Третьей буквой *D* будут выделены переменные, относящиеся к оптовой торговле, а буквой *F* — к производству.

Лучше всего будет, очевидно, одновременно строить уравнения и соответствующие диаграммы потоков. В этой главе первая диаграмма потоков будет строиться шаг за шагом вслед за выводом соответствующих уравнений. В дальнейшем для экономии места диаграммы потоков будут даваться сразу целиком, опережая уравнения, которые должны им сопутствовать [1].

13. 5. Уравнения системы

13.5.1. Уравнения для розничной торговли. Мы начнем с двух простых уравнений: одно описывает уровень невыполненных заказов, другое — запасы товаров. На рис. 13-2 показаны эти две переменные на первой стадии построения диаграммы потоков. Здесь *IAR* — запасы товаров, а сплошные линии изображают входящие и исходящие потоки материалов; *UOR* — уровень невыполненных заказов; соответствующие потоки изображены линиями с кружками, идущими к прямоугольнику и от него. Величина *UOR* может быть определена с помощью обычного уравнения уровня, который зависит от темпов одного входящего и одного исходящего потоков [2].

$$UOR.K = UOR.J + (DT)(RRR.JK - SSR.JK),$$

где 13-1, *L*

UOR — заказы, не выполненные розницей (в единицах товара);

RRR — требования (заказы), получаемые розницей (единицы в неделю);

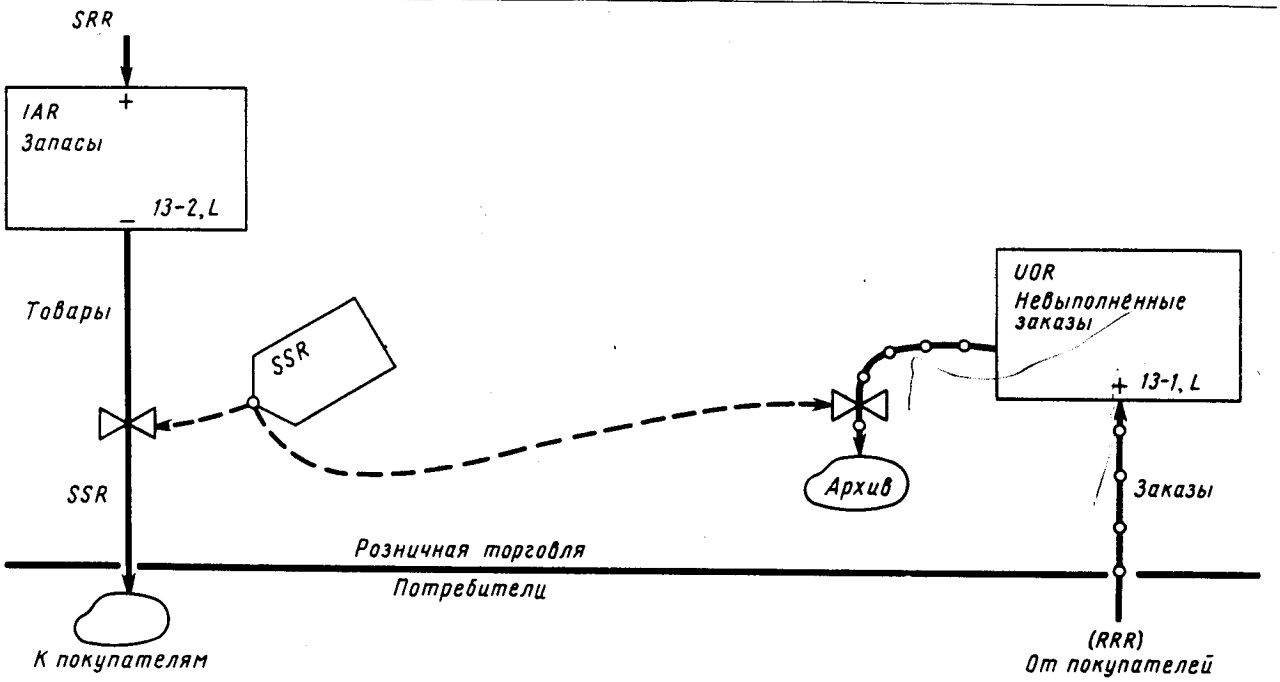
SSR — розничная отгрузка (единицы в неделю);

DT — интервал времени между решениями уравнений (недели).

В указанном справа порядковом номере уравнения цифра 13 означает номер главы, цифра 1 — номер уравнения внутри главы, а индекс *L* указывает, что это уравнение описывает уровень. Уравнение определяет количество невыполненных заказов в настоящий момент времени *K*, исходя из количества невыполненных заказов, определенного в последний раз для момента времени *J*, и из темпов входящего и исходящего потоков в интервале времени *JK* между вычислениями. Темпы входящих и исходящих потоков в течение интервала *JK* принимаются постоянными (для того, чтобы это допущение было приемлемым, интервал времени должен быть достаточно коротким). Произведение продолжительности интервала времени *DT* на темп входящего потока *RRR*. *JK* определяет число новых заказов, полученных за интервал *JK*. Точно так же произведение (*DT*)(*SSR.JK*)

[1] На диаграммах потоков используются обозначения, введенные в главе 7.

[2] Сущность уравнений, описывающих уровни, рассматривалась в главе 6.



Р и с. 13-2. Исходная диаграмма потоков в розничной торговле.

определяет количество заказов, выполненных в течение этого же интервала. Обе части уравнения имеют одинаковую размерность:

$$\underset{(UOR)}{\text{единицы}} = \underset{(UOR)}{\text{единицы}} + \underset{(DT)}{(\text{недели})} \left(\underset{(RRR)}{\frac{\text{единицы}}{\text{недели}}} - \underset{(SSR)}{\frac{\text{единицы}}{\text{недели}}} \right)$$

Интервал времени между решениями DT должен быть коротким по сравнению с величиной отображаемых в модели запаздываний [1]. В нашем примере интервал решений должен быть небольшой частью недели. Темпы потока при такой формулировке уравнения измеряются в общепринятых единицах (например, недельный темп), и уравнение остается справедливым независимо от длины интервала DT. Это оставляет достаточную свободу для выбора интервала времени DT между решениями в соответствии с критериями, которые будут рассмотрены ниже.

На рис. 13-2 для полноты учета всех видов потока показан архив выполненных заказов, исключаемых из действующей системы.

Второе уравнение, описывающее уровень запасов в розничной торговле, по существу аналогично первому:

$$IAR.K = IAR.J + (DT)(SRR.JK - SSR.JK), \qquad 13\text{-}2,\ L$$

где

IAR — фактический запас в рознице (единицы);
SRR — поставки, получаемые розницей (единицы в неделю);
SSR — розничная отгрузка (единицы в неделю).

Приведенные уравнения, описывающие уровни, просты и неопровержимы. Они представляют собой основу описания системы. Эти уравнения отражают тот факт, что действительный остаток определяется путем последовательного прибавления или вычитания количеств, определяемых темпами входящего и исходящего потоков.

Уравнения темпов, напротив, не являются столь очевидными и простыми. Именно в уравнениях темпов отображается механизм решений, свойственный системе. Уравнения темпов отражают наше понимание факторов, определяющих действия. Решения, которые регулируют темпы и лежат в основе уравнений темпов, должны быть сформулированы таким образом, чтобы уравнения оставались справедливыми и достаточно точными при любых, даже самых больших изменениях значений переменных, которые могут иметь место в системе. Уравнения

[1] См. раздел 6.5.

темпов часто включают нелинейные функциональные зависимости, описывающие реальное поведение системы в различных обстоятельствах.

Вопреки обычному представлению требование, чтобы уравнения темпов были верными при экстремальных значениях входящих в них переменных, скорее облегчает, чем затрудняет, построение *полезной* модели. Очень часто при определении экстремальных условий, которые могут иметь место на практике, мы можем хорошо обрисовать границы, в которых должна действовать система. Когда эти границы установлены, влияние промежуточных функциональных взаимосвязей между причиной и следствием часто становится пренебрежимо малым. Все зависимости, удовлетворяющие известным ограничительным условиям, могут часто давать почти одни и те же результаты. Уравнение темпа может быть построено на основе рассмотрения различных обстоятельств, оказывающих влияние на темп потока. Для того чтобы это проиллюстрировать, начнем с определения темпа отгрузки товаров из розницы покупателям *SSR*.

Здесь под темпом отгрузки товаров покупателям понимается объективно обусловленный темп. Это значит, что он определяется состоянием системы, а не чьим-либо произвольным административным решением. В принципе можно представить себе решение вообще не посылать имеющиеся товары; однако встречается оно редко, и мы будем им пренебрегать. С математической точки зрения нет никакой разницы между уравнениями явных и неявных решений. Однако определение вида решения обычно помогает внести ясность в наши мысли при построении уравнения.

Темп отгрузки товаров покупателям должен зависеть от величины задолженности по невыполненным заказам, по которым товары подготовлены к отправке. В предельном случае, когда нет заказов, не будет и поставки. Точно так же возможность поставить товары должна зависеть от наличия запасов, из которых может производиться поставка. Темп поставок не зависит от каких-либо других темпов, имеющих место в системе в тот же момент времени. Возможность поставки в данный момент зависит от наличия невыполненных заказов, но не зависит от существующего в данный момент времени *темпа* поступления новых заказов, так как товары по ним в этот момент еще не могут быть предметом поставки. Только уровень имеющихся товаров, а не темп их поступления в розничную торговлю *SRR* и не темп размещения заказов в оптовом звене влияет на возможность поставок в настоящий момент, хотя уровни, определяющие возможность поставок в данный момент, достигли своей теперешней величины под влиянием определенных темпов этих потоков в прошлом. Имеющие место в *данный момент* темпы ряда потоков воздействуют на будущую, а не на настоящую возможность поставок. Если читателю кажется, что другие темпы потоков, имеющие место в настоящее время, влияют на темп поставок в данный момент времени, значит, он не смог увидеть разницу между мгновенными и средними темпами или не разобрался в достаточной мере в вопросе о том, что понимается под настоящим моментом времени.

Есть, очевидно, много приемлемых способов построения уравнения темпа поставки товаров. Мы здесь будем считать, что темп выполнения заказов определяется объемом невыполненных заказов и запаздыванием выполнения заказов, которое является переменной величиной. В свою очередь запаздывание выполнения заказов мы будем рассматривать как функцию имеющихся запасов.

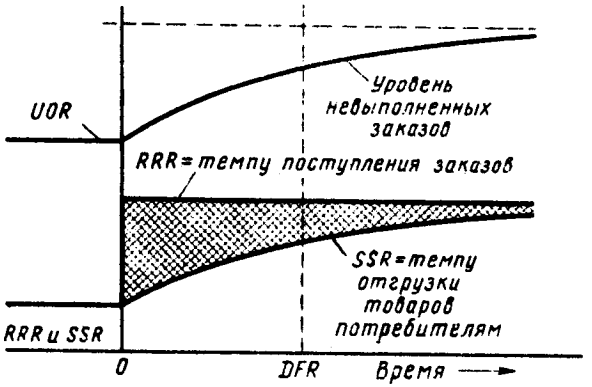
При таком способе определения темпа поставок мы можем получить следующее простое уравнение:

$$SSR.KL = \frac{UOR.K}{DFR.K},$$

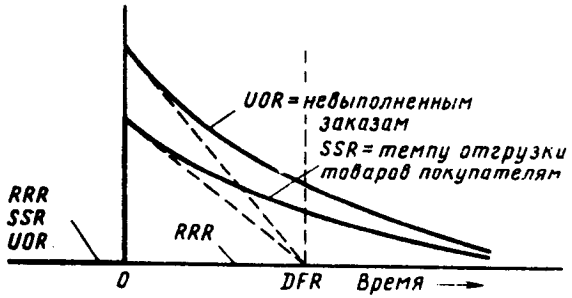
SSR — розничная отгрузка (единицы в неделю);
UOR — заказы, не выполненные розницей (единицы);
DFR — запаздывание (переменное) выполнения заказов розницей (недели).

Это уравнение имеет форму показательного запаздывания первого порядка [1], только без учета того обстоятельства, что запаздывание может быть переменной величиной. Из приведенного уравнения следует, что недельный темп поставок в данное время составляет определенную часть всех невыполненных заказов, равную $1/DFR.K$. В известном смысле это уравнение определяет, что именно подразумевается под запаздыванием *DFR*. Мы можем проверить, насколько удовлетворительной может быть эта зависимость в различных несложных обстоятельствах.

[1] См. раздел 8.3.



Р и с. 13-3. Реакция темпа отгрузки товаров покупателям *SSR* и уровня невыполненных заказов *UOR* на скачкообразное изменение в темпе поступления заказов *RRR*.



Р и с. 13-4. Реакция темпа отгрузки товаров покупателям *SSR* и уровня невыполненных заказов *UOR* на импульсный ввод заказов *RRR*.

Прежде всего представим себе стабильные условия, при которых имеет место постоянный поток заказов *RRR* и постоянный, стабильный темп розничной отгрузки *SSR*. Из уравнения следует, что при постоянном темпе отгрузки чем больше запаздывание *DFR*, тем больше скапливается невыполненных заказов *UOR*. Это соответствует действительности, поскольку в стабильных условиях объем заказов в стадии исполнения должен быть пропорционален и темпу продаж *SSR*, и среднему запаздыванию в выполнении имеющихся заказов.

Рассмотрим некоторые частные случаи использования приведенного выше уравнения. Если бы в системе, находившейся в стабильных условиях, неожиданно возрос темп поступления заказов *RRR*, то реакция темпа отгрузки *SSR* имела бы характер, показанный на рис. 13-3. Такая реакция соответствует показательному запаздыванию первого порядка. Показанная на рис. 13-3 зависимость между заказами и поставками представляется правдоподобной. Действительно, если товары продаются не с прилавка (как, например, холодильники), то темп действительной отгрузки будет повышаться постепенно вслед за повышением темпа продажи. Заштрихованная площадь между кривой продаж *RRR* и кривой поставок *SSR* представляет собой объем дополнительных заказов, находящихся в стадии выполнения, которые присоединяются к невыполненным заказам *UOR*, как это уже рассматривалось применительно к стабильным условиям.

Можно проанализировать другой частный случай. Предположим, что входящих заказов *RRR* не было вовсе (см. рис. 13-4). Затем появляется непредвиденная партия заказов, после чего темп заказов снова становится равным нулю; здесь мы наблюдаем так называемую «импульсную» реакцию, которая соответствует поведению запаздывания первого порядка. Мы видим, что объем невыполненных заказов резко возрос до величины, соответствующей полученной партии заказов; темп отгрузки товаров возрастает до максимума и затем снижается по мере того, как снижается задолженность по невыполненным заказам. Это можно объяснить тем, что имеются изделия, заказы на которые легко выполнимы, и по этим заказам тотчас же производятся необходимые операции. Однако мы можем получить более правильные результаты, если введем первоначальное запаздывание отгрузки; более равномерное увеличение темпа отгрузки в рассматриваемом с целью исследования модели случае представляется более реальным. Если это так, то процесс выполнения заказов может быть разделен на две или большее число стадий. Одно уравнение, как приведенное выше, могло бы отвечать запаздываниям в условиях отсутствия товарных запасов. В предшествующем случае запаздывание третьего порядка в потоке входящих заказов *RRR* могло бы отражать запаздывание в системе, связанное с оформлением заказа. Анализируя подобные альтернативы, можно определить их воздействие на поведение системы. Основываясь на накопленном ранее опыте, допустим, что такой детальный анализ для достижения поставленных здесь целей не требуется.

По приведенному выше уравнению нельзя судить с достаточной уверенностью о том, что темп отгрузки *SSR* в течение начального ин-

тервала времени KL будет не больше, чем это позволяют оставшиеся запасы товаров. Как будет отмечено позже при рассмотрении запаздывания $DFR.K$, величина этого запаздывания будет возрастать по мере сокращения запасов, в результате чего темп отгрузки будет иметь тенденцию к понижению. Все же для того, чтобы полностью исключить возможность появления отрицательных запасов, в последующих уравнениях будут специально введены две вспомогательные переменные.

В последующих трех уравнениях показан простейший прием, применяемый при построении модели. Эти уравнения были введены на ранней стадии построения данной модели и оставлены здесь как основа для обсуждения вопросов, затрагиваемых ниже (см. сноску на этой странице). Предыдущее уравнение мы перепишем, используя вместо темпа поставок SSR вспомогательную переменную STR.

$$STR.K = \frac{UOR.K}{DFR.K}, \qquad 13\text{-}3,\ A$$

где

STR — проверяемый темп розничной отгрузки (единицы в неделю);
UOR — заказы, не выполненные розничным звеном (единицы);
DFR — запаздывание выполнения заказов розничным звеном (недели).

Это вспомогательное уравнение, а STR — вспомогательная переменная; она вычисляется сразу после определения вспомогательной переменной DFR. Как уже отмечалось в разделе 6.4, вычисление вспомогательных переменных часто требует определенной последовательности.

Прежде чем признать, что *предполагаемый темп* поставки STR является истинным значением темпа поставки SSR, сопоставим значение STR с предельным темпом отгрузки, при котором за время между решениями уравнений используется весь имеющийся объем товарных запасов. Этот темп определяется следующим уравнением:

$$NIR.K = \frac{IAR.K}{DT}, \qquad 13\text{-}4,\ A$$

где

NIR — предельный темп розничной отгрузки (единицы в неделю);
IAR — фактический запас в розничном звене (единицы);
DT — интервал времени между решениями уравнений (недели).

Мы теперь готовы к тому, чтобы написать наше уравнение для темпа поставок:

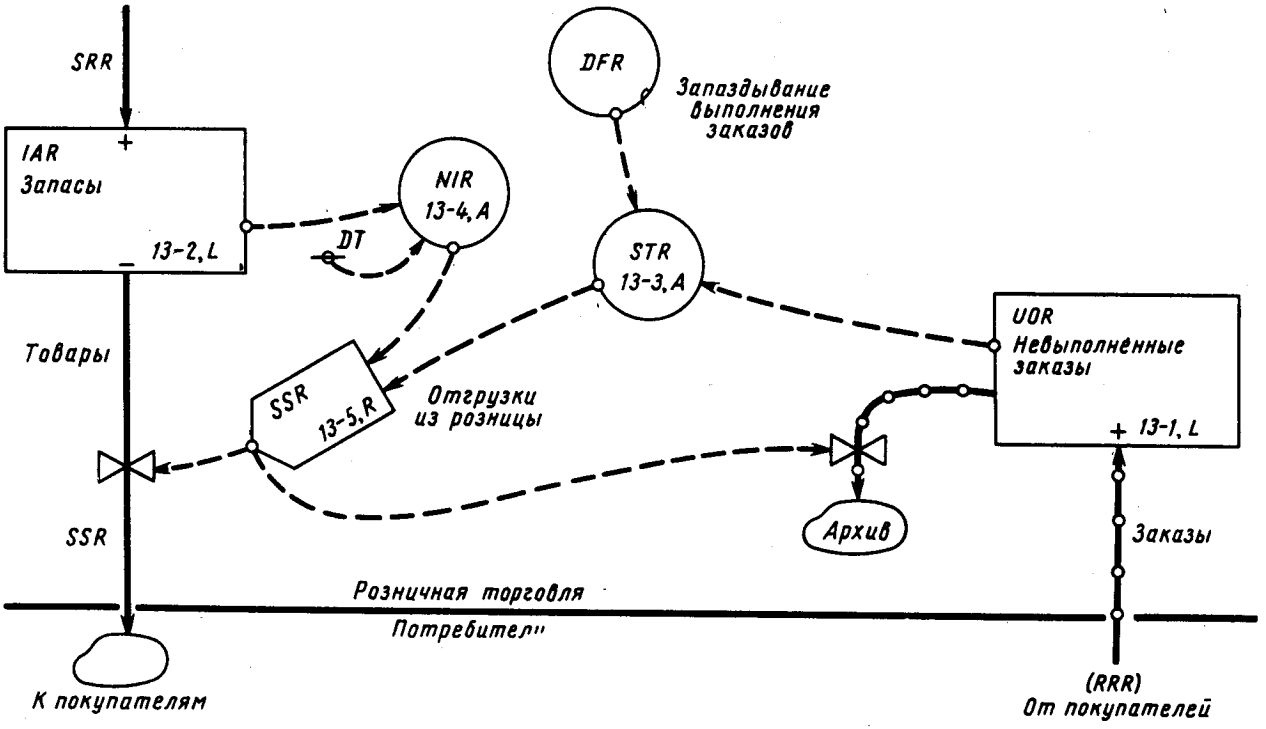
$$SSR.KL = \begin{cases} STR.K, & \text{если } NIR.K \geqslant STR.K \\ NIR.K, & \text{если } NIR.K < STR.K \end{cases}, \qquad 13\text{-}5,\ R$$

где

SSR — розничная отгрузка (единицы в неделю);
NIR — предельный темп розничной отгрузки (единицы в неделю);
STR — проверяемый темп розничной отгрузки (единицы в неделю).

Уравнение 13-5 определяет темп розничной отгрузки, который будет иметь место в течение предстоящего интервала времени KL [1]. В нем утверждается, что если предельный темп $NIR.K$, определяемый из уравнения 13-4, больше или равен желаемому темпу отгрузки $STR.K$, определяемому по уравнению 13-3, то следует принять темп $STR.K$. Если $NIR.K$ меньше, чем $STR.K$, то за темп поставки принимается NIR. В обычных обстоятельствах, когда запасы не снижаются до нуля, темп поставок определяется уравнением 13-3.

[1] Следует отметить, что такое ограничение пределов изменения переменной, как в уравнении 13-5,— плохой прием, которым можно легко злоупотребить, нанеся вред правильной формулировке модели. В реальных системах такое ограничение встречается редко. Оно было введено нами в модель после того, как возникла опасность появления абсурдных отрицательных значений объема запасов. Если бы пришлось на деле использовать механизм ограничений, отраженных в уравнениях 13-3, 13-4, 13-5, это, возможно, явилось бы указанием на неполноценность основных уравнений системы. Именно это и получилось в данном случае, когда мы имеем дело с совокупными запасами различных товаров большой номенклатуры. Использовать механизм ограничений было бы целесообразно только в том случае, если бы у нас не было возможности уравновесить заказы и запасы таким образом, чтобы предотвратить тенденцию к снижению объема запасов товаров до нуля. Однако в уравнениях заказов, о которых речь будет идти позже, нет ничего обескураживающего. Заказы со стороны потребителей не уменьшаются от того, что приходится сталкиваться с чрезмерными запаздываниями в поставках. Например, если производственная мощность предприятия меньше, чем предполагаемый средний спрос со стороны розничной торговли, заказы все больше будут накапливаться в уровнях невыполненных заказов. В случае, когда заказы во много раз превосходят производственную мощность, наша модель неприменима; высокие уровни невыполненных заказов могут вызвать такие темпы поставки товаров, что на протяжении одного интервала между решениями уравнений запасы истощатся и возникнет отрицательный уровень запасов. В этом случае не следует использовать ограничивающие уравнения, а вместо исходного уравнения 13-3 лучше сформулировать другое,



Р и с. 13-5. Отражение выполнения заказов в диаграмме потоков розничной торговли.

Взаимосвязь уравнений 13-3, 13-4 и 13-5 представлена на диаграмме потоков (рис. 13-5).

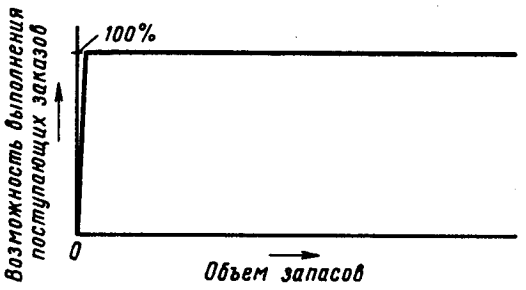
Прежде чем перейти к составлению уравнения взаимосвязи между запасами и переменным запаздыванием *DFR*, используемым при вычислении темпа отгрузки товаров, необходимо более подробно остановиться на природе рассматриваемых запасов. Если мы рассматриваем один вид товара на одном складе, то ясно, что заказы могут выполняться до тех пор, пока не истощатся все имеющиеся запасы. Это показано на рис. 13-6, где все входящие заказы могут выполняться, пока на складе есть запасы. Возможность выполнения заказов сразу падает до нуля, как только истощаются запасы товаров.

Совсем другое положение складывается, когда один вид товара имеется в наличии на нескольких складах или множество разных товаров находится на одном складе и, уж конечно, если речь идет о множестве различных товаров на многих складах. В любом из этих случаев мы можем ожидать, что запасы одних товаров будут исчерпаны раньше других на некоторых складах и что наша суммарная возможность выполнять заказы будет постепенно снижаться по мере того, как снизится общий объем запасов всех видов товаров. Это показано на рис. 13-7. Мы будем рассматривать в нашем примере именно этот случай, поскольку имеется в виду производство различных видов товаров и их розничная продажа по всей стране.

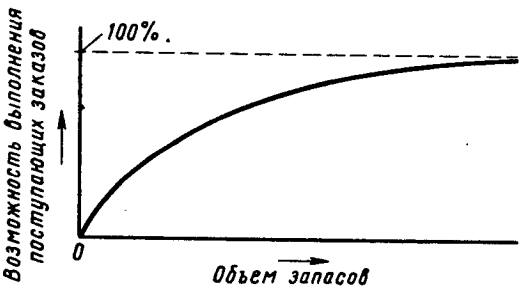
Величина запаздывания, определенная по среднему числу выполненных заказов, будет обратно пропорциональна возможности выполнения заказов. По мере того как все меньшее и меньшее число заказов может быть выполнено за счет запасов, все больше и больше невыполненных заказов будет ждать выполнения за счет поступающих товаров. На рис. 13-8 показан общий вид взаимосвязи, которая *должна* существовать между запаздыванием в выполнении заказа и уровнем запасов. При достаточно большом запасе товаров среднее запаздывание выполнения заказов будет приближаться к минимально возможному запаздыванию, определяемому затратами времени на оформление за-

более подходящее уравнение, применение которого не будет приводить к условиям, от которых мы хотим себя оградить. Поскольку при всех изменениях модели в этой и следующей главах уравнения 13-4 и 13-5 не используются, то темп поставок *SSR* будет определяться уравнением 13-3.

каза и отгрузку товара. По мере уменьшения общего запаса, состоящего из различных товаров, все больше и больше заказов на все большем и большем числе складов будет сталкиваться с отсутствием необходимых запасов. Пока эти



Р и с. 13-6. Выполнение заказов на один вид товара с одного склада.



Р и с. 13-7. Выполнение заказов на различные товары со многих складов.

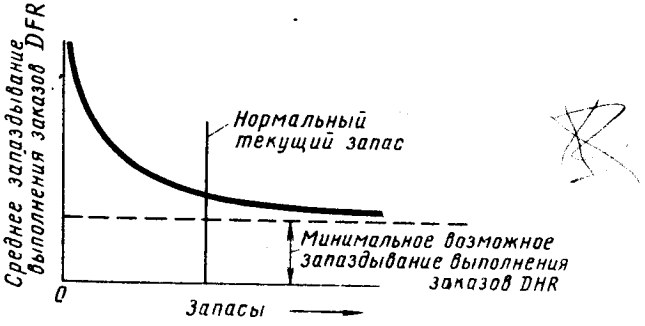
заказы ждут поступления соответствующих товаров, они способствуют увеличению среднего запаздывания, определяемого для всех заказов в целом. Когда запасы приближаются к нулю, запаздывание будет резко увеличиваться, устремляясь к бесконечности. Это означает, что когда нет запасов, то нет и возможности осуществлять поставки.

Теперь можно обсудить методику вычисления переменного запаздывания *DFR*. Обращаясь к рис. 13-8, мы видим, что кривая, отображающая соотношение между запаздыванием и запасом, должна иметь следующую форму: она должна начинаться с какого-то минимального значения при высоком уровне запаса и затем подыматься все круче и круче по мере уменьшения запаса. Приводимое ниже уравнение удовлетворительно описывает форму такой кривой:

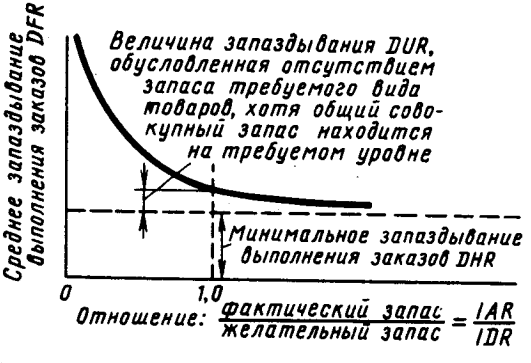
$$\text{запаздывание} = \text{минимальное запаздывание} + \frac{\text{константа}}{\text{запас}}$$

Для очень больших запасов второй член правой части уравнения близок к нулю, так что запаздывание равно минимально возможному; когда запасы приближаются к нулю, этот член выражения стремится к бесконечности, резко повышая величину запаздывания.

Такая формулировка имеет серьезный недостаток. Она основана на абсолютном уровне запасов, не вытекающем из среднего уровня деловой активности, который должен служить указанием на то, какого объема запасов «хватает». В качестве меры запаса здесь лучше, вероятно, использовать не фактический запас, а его отношение к такому запасу, который был бы «достаточным» или «соответствующим». Мы введем поэтому понятие «желательного запаса», с которым будем сравнивать фактический запас. Кривая, изображенная на рис. 13-8, в этом



Р и с. 13-8. Зависимость запаздывания от величины запаса.



Р и с. 13-9. Зависимость запаздывания от отношения фактического и желательного запасов.

случае преобразуется в кривую, показанную на рис. 13-9 [1].

Подставив в приведенное уравнение отношение запасов *IAR/IDR*, после простого преобразования получим следующее уравнение, которое отражает отношение между запасом и запаздыванием отгрузки товаров, о котором уже говорилось:

$$DFR.K = DHR + DUR\,\frac{IDR.K}{IAR.K}, \qquad 13\text{-}6,\ A$$

где

DFR — запаздывание выполнения заказов розничным звеном (недели);

DHR — минимальное запаздывание выполнения заказа розничным звеном (недели);

DUR — среднее запаздывание выполнения заказов розничным звеном, связанное с отсутствием на складе некоторых товаров, при общем «нормальном» объеме запасов (недели);

IDR — желательный запас в розничном звене (единицы);

IAR — фактический запас в розничном звене (единицы).

В уравнении 13-6 общая величина запаздывания выполнения заказа равна сумме минимального запаздывания и произведения константы на отношение между желательным и фактическим запасами. После составления этого уравнения диаграмма потоков становится такой, как это показано на рис. 13-10. Теперь, когда установлены константы *DHR* и *DUR*, нам известны все величины, входящие в уравнение 13-6, за исключением величины желательного запаса *IDR*.

[1] Заметим, что если это отношение понадобилось бы определить с большей точностью, то функциональную взаимосвязь между запаздыванием и запасами можно было бы установить путем моделирования выполнения отдельных заказов. Такое детальное моделирование основывалось бы на принятом или известном распределении вероятностей входящих заказов, на правилах размещения заказов с целью пополнения запасов и на запаздываниях приобретения новых запасов. Прежде чем тратить большие усилия в этом направлении, следует определить чувствительность системы уравнений к изменению характера зависимости между запаздыванием и запасом. Можно ожидать, что во многих задачах результаты останутся неизменными при любых разумных изменениях приведенной выше зависимости между запасом и запаздыванием в выполнении заказа, которая была установлена на основе анализа существа происходящих в системе процессов.

Понятие «желательный запас», который можно рассматривать как «идеальный» или «планируемый» уровень запаса, является очень важным. Оно будет здесь использовано в двух случаях. Как указывалось выше, этот потребный запас служит эталоном, с которым сравнивается фактический запас с целью установления возможности выполнения заказов. «Желательный уровень запасов» будет также одним из факторов, влияющих на формирование решения о размещении заказов на поставку товаров для создания новых запасов. Использование понятия «идеальный запас» в расчете восполнения запасов делает это понятие важным при рассмотрении динамического поведения системы. Взаимосвязь между изменениями объема запасов и среднего уровня продажи товаров является одним из нескольких наиболее важных источников усиления колебаний производственной деятельности. Независимо от стабильности системы общепринятая практика заключается в создании или уменьшении запасов в соответствии с увеличением или снижением уровня продажи товаров. Именно это дает возможность измерять запасы определенным числом недель, в течение которых можно осуществлять продажу за счет запасов; такой способ измерения запасов применяется во многих складских операциях. Понятие «годовой темп оборота запасов» также связано с представлением о пропорциональности между запасами и уровнем продаж [1].

Анализ данных о взаимосвязи между продажей товаров и общими запасами в целом по стране указывает на тенденцию выравнивания амплитуд их колебаний. Поскольку во многих случаях принимают прямую пропорциональную связь между желательным запасом и средней продажей товаров, то мы также начнем с введения такой связи:

$$IDR.K = (AIR)(RSR.K), \qquad 13\text{-}7,\ A$$

где

IDR — желательный запас в розничном звене (единицы);

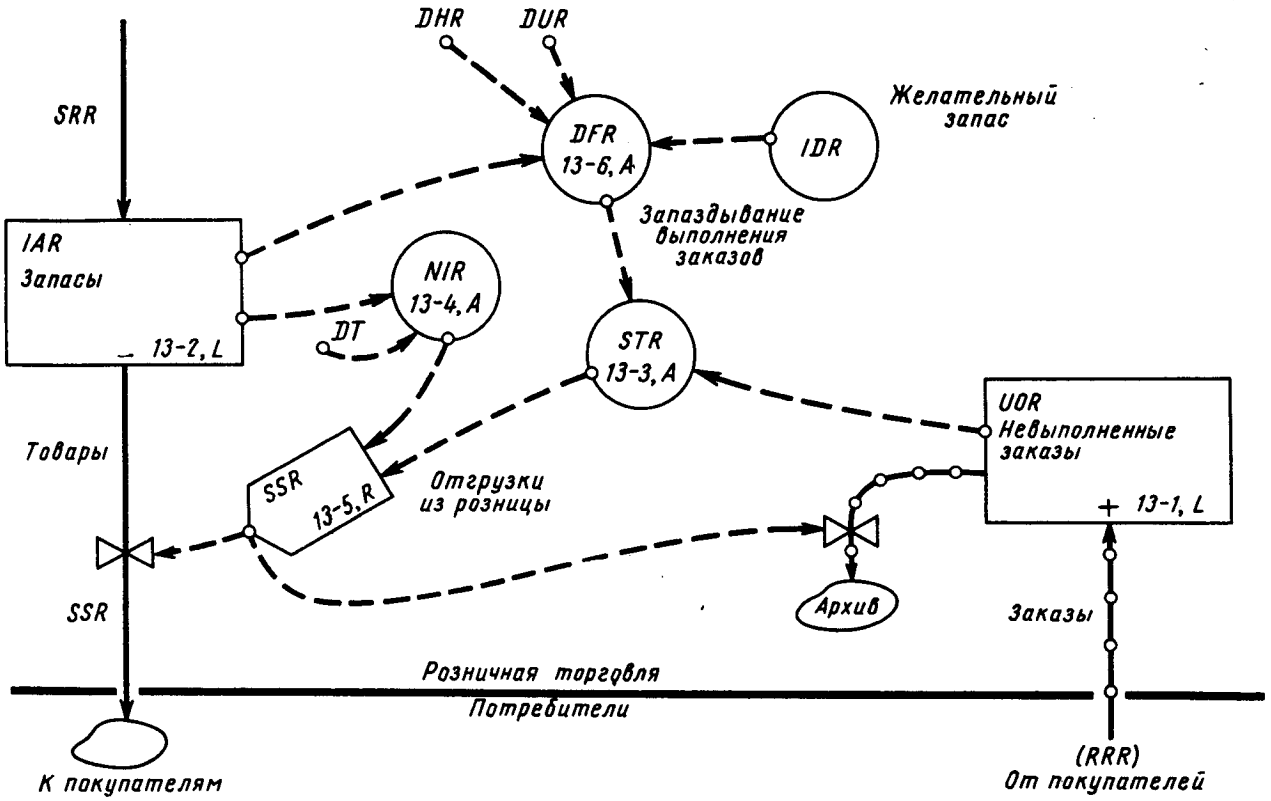
AIR — коэффициент пропорциональности (недели);

[1] С помощью теории запасов можно показать, что объем запасов должен быть пропорциональным корню квадратному из уровня продажи товаров, однако финансовые затруднения и спекулятивные силы усиливают влияние деловой активности на объем запасов; кроме того, прямо пропорциональная связь легче воспринимается.

RSR — усредненные требования к розничной торговле, то есть средний темп продаж (единицы в неделю).

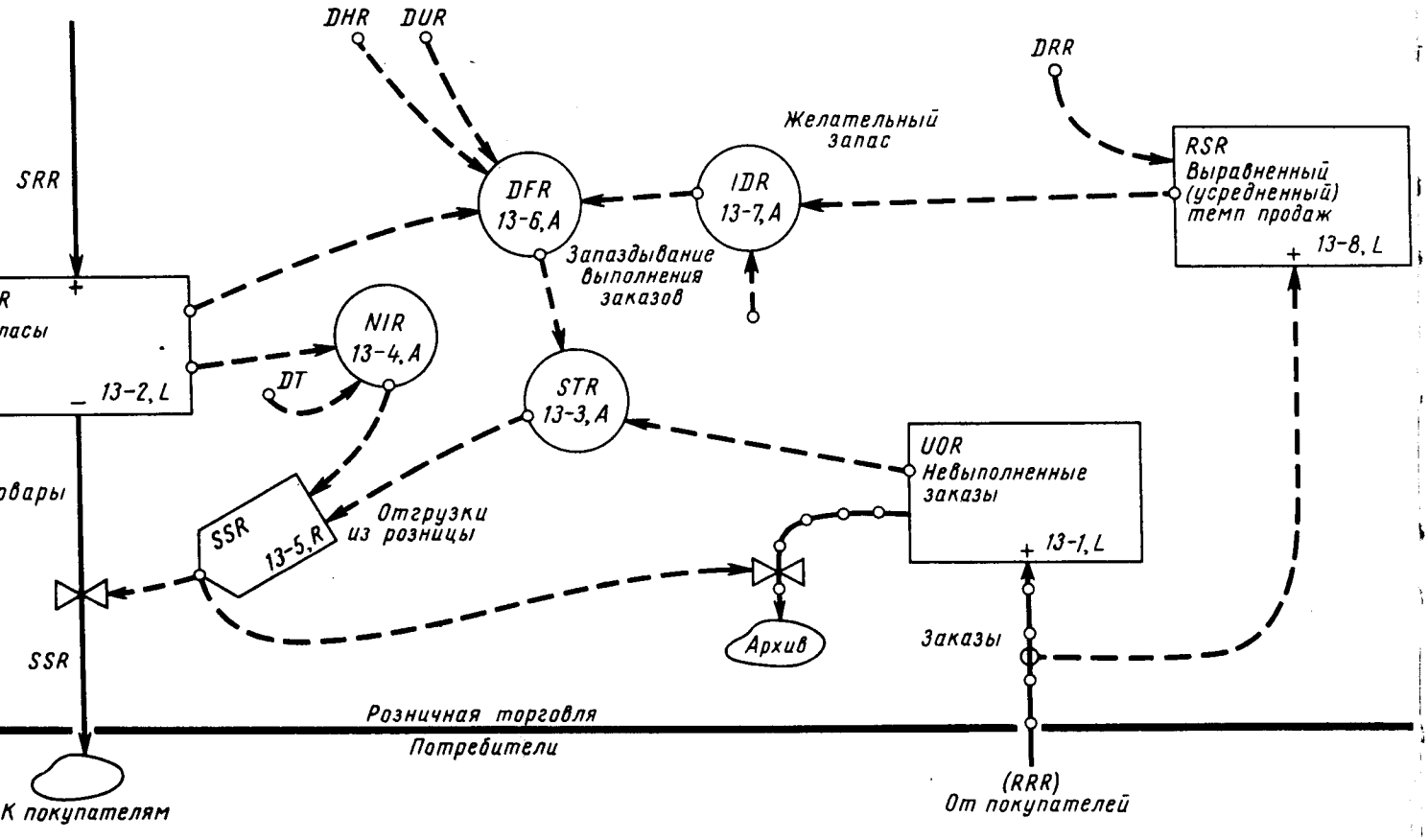
ним воздействиям, вызывающим нарушения этой стабильности.

Взаимосвязи, описываемые уравнением 13-7,



Р и с. 13-10. Отражение запаздывания поставок в диаграмме потоков розничной торговли.

Константа *AIR* представляет собой число недель, в течение которых средний темп продажи может быть обеспечен за счет желательного запаса. Разделив это число на 52 недели, можно получить темп годового оборота запасов. Здесь снова следует напомнить читателю, что эти уравнения «правильны» только в том смысле, что они отражают те взаимосвязи, которые будут иметь место в создаваемой модели. Они не обязательно уместны и верны во всех ситуациях, складывающихся в реальной системе. Изменения, которые будут внесены в уравнение 13-7 позднее, могут быть эффективно использованы для того, чтобы найти пути повышения стабильности производственно-сбытовой системы и уменьшения ее чувствительности к внешним воздействиям, включены в диаграмму на рис. 13-11. Кроме того, на ней показан поток информации, необходимой для определения среднего темпа продаж *RSR*. В связи с тем, что текущий темп продаж *RRR* будет колебаться от одного дня к другому и не будет соответствовать усредненному потоку информации, необходимо усреднить фактические данные о продаже товаров, чтобы получить цифры, на которых можно было бы основывать планы в отношении объема запасов и заказов. Чем больше «помех» в данных о продаже, тем большим должно быть время усреднения. Чем больше время усреднения, тем больше момент времени, в который определяется средний темп продажи товаров, будет отставать от реальных событий. Фактические данные требуют усреднения, усреднение порождает запаздывание, а запаздывание влияет на поведение и стабильность



Р и с. 13-11. Отражение желательного запаса и усредненного темпа продаж в диаграмме потоков розничной торговли.

системы. Усреднение должно быть одной из характеристик системы, даже если мы изучаем реакцию системы на свободные от помех сигналы, хотя свободные от помех компоненты информации искажаются тем самым усреднением, которое призвано помочь нам устранить помехи. Можно использовать различные методы усреднения. Здесь мы используем «показательное усреднение первого порядка», которое дает нам уравнение следующего вида:

$$RSR.K = RSR.J + (DT)\left(\frac{1}{DRR}\right) \times \times (RRR.JK - RSR.J), \qquad 13\text{-}8,\ L$$

где

RSR — усредненные требования к розничному звену (единицы в неделю);

RRR — требования, получаемые розничным звеном; текущий темп продаж (единицы в неделю);

DRR — запаздывание усреднения требований к розничному звену, постоянная времени усреднения (недели).

Уравнение 13-8 показывает, что вновь рассчитанный средний уровень [1] продаж RSR в настоящий момент времени K равен предшествующему значению этого уровня, скорректированному на некоторую долю разности между темпом продаж в течение последнего интервала времени $RRR.JK$ и рассчитанным ранее средним темпом продаж $RSR.J$. Константа DRR дает ту долю разности, на которую необходимо каждую неделю корректировать темп продаж товаров; обратная этой константе величина умножается на значение интервала времени DT, чтобы определить поправку в среднем темпе продаж за интервал времени между вычислениями. Усреднение, в основе которого ле-

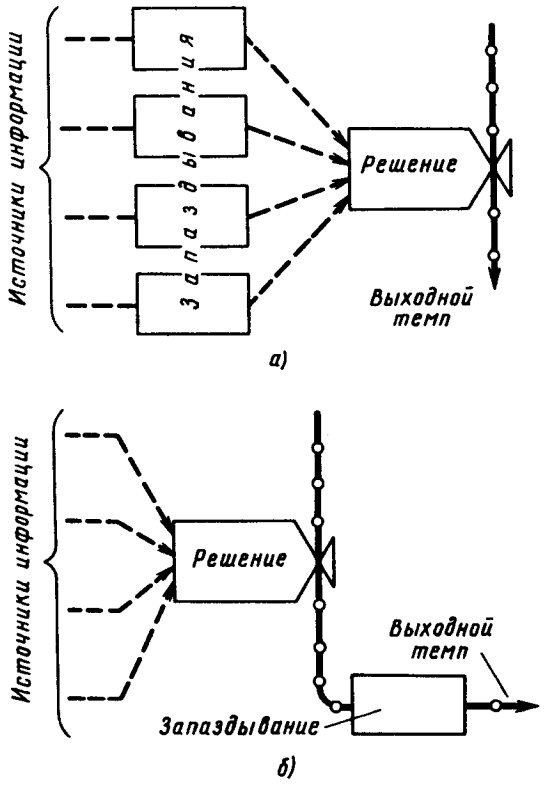
[1] Вопрос о том, почему средний темп является уровнем, рассматривается в разделе 5.1.

жит зависимость, описываемая показательной функцией, дает наиболее весомый результат в том случае, когда оно охватывает данные, полученные в самое последнее время.

В предыдущих уравнениях и на рис. 13-11 показаны поступающий от покупателей поток заказов розничной торговле и факторы, определяющие выполнение этих заказов. Следующий шаг состоит в разработке критерия для принятия решения о выдаче заказа оптовой базе. Это будет уравнение темпа выдачи исходящих заказов. Принимаемое в соответствии с этим уравнением решение будет явным по форме, поскольку предприниматели в розничной торговле имеют возможность заказывать любое желаемое количество товара. Будет ли иметь место поставка товаров — это определяется неявными решениями в звене оптовой торговли, которые зависят от возможности поставки этим звеном заказанных товаров.

В связи с принятием решений о заказах, направленных на пополнение запасов, возникает одна проблема методологического характера. Здесь мы очень часто будем иметь дело с решениями, которые формируются постепенно. Они требуют сбора данных, предположений, рекомендаций и проверки. После этого принимается решение, которое впоследствии реализуется. При размещении заказов на пополнение запасов используются надежные источники информации, принимаются различные вспомогательные решения, обосновываются предположения о спросе и учитываются запаздывания, связанные с оформлением документов при выдаче заказов. Подробности отдельных этапов принятия решения и отдельные запаздывания в этом процессе не представляют для нас интереса с точки зрения изучения основных обобщенных характеристик производственно-сбытовой системы. При нашей формулировке уравнения запаздывания рассматриваются отдельно от решений. Нам нужно решить, как сгруппировать запаздывания и решения и установить соотношения между ними. Рис. 13-12 иллюстрирует два из многих возможных вариантов комбинаций запаздываний и решения.

На рис. 13-12 *а* информация от каждого из ее источников поступает со своим запаздыванием к месту принятия решения, где она объединяется для регулирования темпа на выходе. На рис. 13-12 *б* показан альтернативный вариант, где решение принимается на основе информации, получаемой без задержек, а затем на выходе из пункта принятия решения имеется запаздывание, которое отражает как задержки в получении информации, так и задержки при принятии решения. Для большей достоверности иногда целесообразно включить соответствующие запаздывания перед принятием решения и после него. Показанный на рис. 13-12 *б* метод проще, так как в этом случае для запаздывания требуется составить лишь одну систему уравнений, а не несколько. Поскольку с точки зрения



Р и с. 13-12. Запаздывания получения информации и принятия решения.

поставленных здесь целей точность в представлении системы не является существенным преимуществом того или иного метода, мы выберем более простой подход, соответствующий изображенной на рис. 13-12 *б* схеме. Это значит, что мы будем строить уравнение для определения «предстоящего» решения о выборе темпа закупок, вводя в него запаздывание в потоке заказов, которое по величине будет эквивалентно общему запаздыванию обработки исходных данных, принятия решения о закупке товаров и оформления заказа на пополнение запаса в закупочной конторе.

Первая задача состоит в том, чтобы выявить основные источники информации, которые долж-

ны оказывать влияние на темп закупок. Мы уже решили не включать в модель прогнозы, а также и ряд других мало существенных факторов. Первый из наиболее важных, подлежащих учету факторов — это возобновление запасов товаров взамен проданных. Кроме того, необходимо предусмотреть размещение заказов для компенсации разницы между фактическим и желательным запасами. Необходимо также установить так или иначе неизбежное увеличение объема заказов и товаров, нужных для заполнения каналов системы.

Если установлено определенное время передачи заказов и товаров по каналам между розничной и оптовой торговлей, то необходимо, чтобы общее количество заказов и товаров в каналах было пропорционально уровню деловой активности. Если не вводить заказы с этой целью в каналы системы, то возникнет недостаток запасов. Эти факторы выражены в следующем уравнении:

$$PDR.KL = RRR.JK + \left(\frac{1}{DIR}\right) \times$$

$$\times [(IDR.K - IAR.K) + (LDR.K - LAR.K) +$$

$$+ (UOR.K - UNR.K)], \qquad 13\text{-}9,\ R$$

где

PDR — темп закупок розницей, устанавливаемый в результате решения (единицы в неделю);

RRR — требования, получаемые розничным звеном (единицы в неделю);

DIR — запаздывание регулирования запасов (и заполнения каналов) в розничном звене (недели);

IDR — желательный запас в розничном звене (единицы);

IAR — фактический запас в розничном звене (единицы);

LDR — желательный уровень передаваемых по каналам заказов, определяемый потребностями розничной торговли (единицы);

LAR — фактический уровень выданных розничным звеном заказов, находящихся в каналах (единицы);

UOR — заказы, не выполненные розничным звеном (единицы);

UNR — нормальное для розничного звена число невыполненных заказов (единицы).

Диаграмма потоков, построенная с учетом уравнения 13-9, показана на рис. 13-13. Ниже будут рассмотрены все члены этого уравнения, определяющего темп выдачи заказов на товары в течение предстоящего интервала времени *KL*.

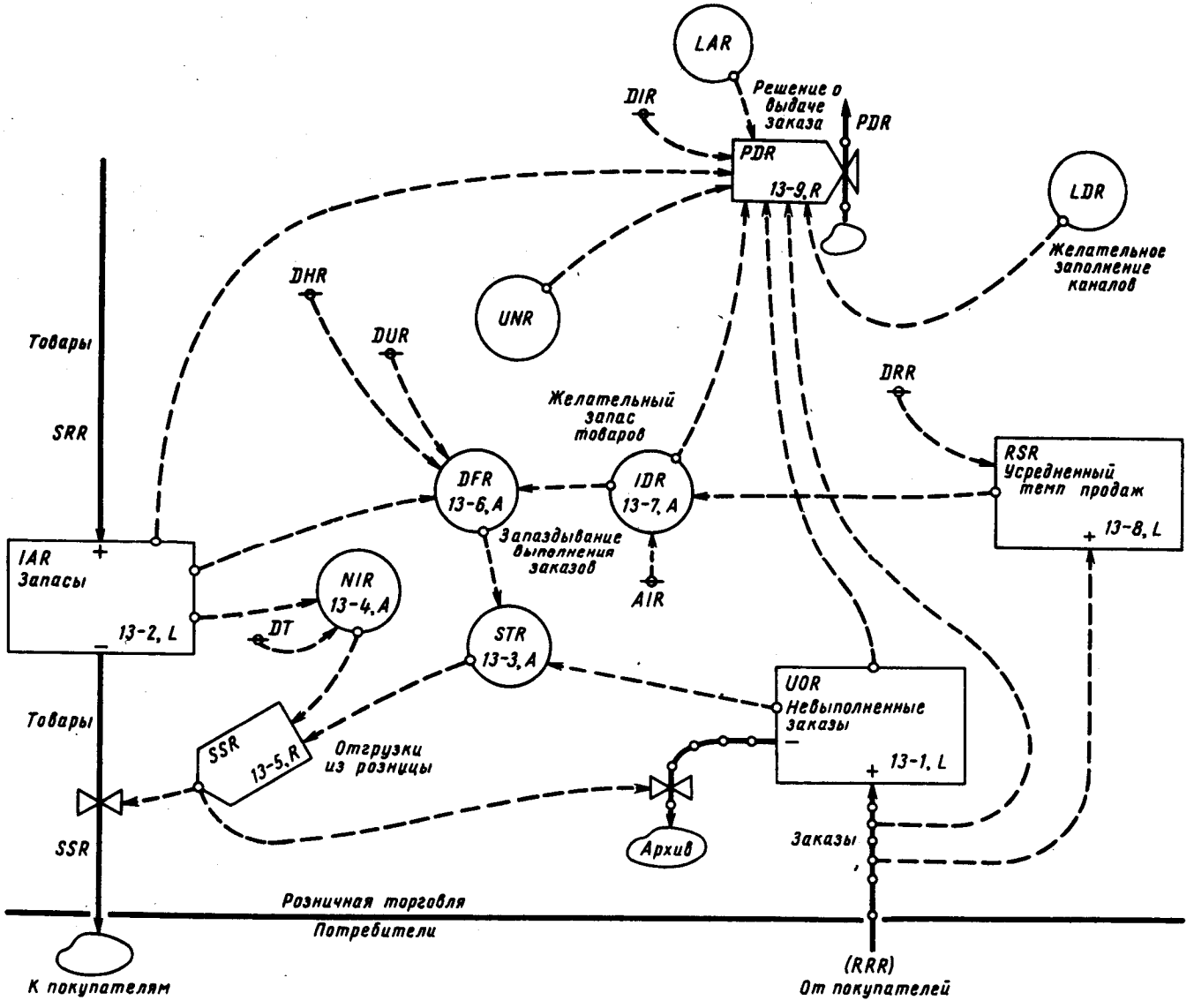
Прежде всего темп розничных закупок будет зависеть от сложившегося темпа продаж *RRR* в течение предшествующего интервала времени *JK* [1]; это будут заказы, направленные на возобновление запаса товаров взамен проданных. Следует иметь в виду, что речь идет о предстоящем решении, которое принимается на основе самой последней достоверной информации, а запаздывание в процессе сбора информации должно быть введено позже.

Запаздывание *DIR* есть постоянная времени, отражающая тот темп, с каким розничная торговля в среднем реагирует на возникновение дефицита товаров в запасе и каналах системы. Нельзя предположить, что розничная торговля будет немедленно реагировать в полную силу на любую теоретически возможную разницу между желательным и фактическим запасами. Более того, потери времени на обнаружение такой разницы могут быть весьма существенными. Константа *DIR* позволяет установить это время реакции. К примеру, если величина *DIR* была бы равна 4 неделям, то темп пополнения запасов был бы таков, что любой остающийся дефицит (величина дефицита определяется выражением, стоящим в квадратных скобках) компенсировался бы со скоростью одной четверти дефицита в неделю. Позже мы увидим, что эта постоянная представляет собой один из решающих параметров, определяющих динамическое поведение системы.

Два члена уравнения, относящиеся к запасам, дают разницу между желательным и фактическим запасами. Если уровень желательного запаса будет выше или ниже фактического, то темп размещения заказов будет соответственно скорректирован.

Два члена уравнения, относящиеся к каналам системы, подобны членам уравнения, описывающим запасы. Желательный уровень заказов в каналах будет определен позднее (он пропорционален среднему уровню продажи товаров) тем же способом, что и желательный

[1] Обратите внимание на то, что использование темпа еще в одном уравнении темпов противоречит принципам, положенным в основу структуры системы, о которых шла речь в главе 5. Точнее говоря, здесь можно было бы использовать кратковременный средний темп за предшествующий день, неделю или месяц, поскольку практически невозможно установить мгновенные темпы в реальной ситуации. Однако когда период усреднения становится существенно коротким, мы ничего не выиграем, введя еще одно уравнение усреднения, а лишь дополнительно усложним модель.



Р и с. 13-13. Отражение решения о закупках в диаграмме потоков розничной торговли.

запас. В реальной обстановке вряд ли можно быть уверенным в том, что многие организации розничной торговли сознательно подходят к выдаче заказов, необходимых для заполнения каналов, как к части своих действий по размещению заказов. Если они этого не делают, то заказы, необходимые для сохранения желательного темпа поставки товаров, будут автоматически выдаваться за счет собственных запасов, так что принимаемые в это время меры с целью отрегулировать объем запасов приведут к размещению необходимого числа дополнительных заказов. Постоянная времени запаздывания *DIR* допускает изменение величины преднамеренного или непреднамеренного запаздывания в процессе регулирования.

Член приведенного уравнения *UOR*, обозначающий уровень не выполненных розничной торговлей заказов, включен в связи с общим стремлением получить уверенность в том, что уравнения останутся справедливыми и при экстремальных условиях деятельности системы. Если

поставка товаров из производства отсутствует, а объем не выполненных розничной торговлей заказов столь велик, что побуждает покупателей воздерживаться от дальнейших закупок, в этом случае темп поступления розничных заказов *RRR* становится равным нулю. При таких обстоятельствах фактический уровень запасов будет снижаться до нуля. Согласно уравнениям 13-7 и 13-8, желательный уровень запасов при данных обстоятельствах будет также снижаться до нуля. Это может показаться на первый взгляд неправдоподобным; но на самом деле при отсутствии как поступающих заказов, так и поставок, и при наличии задолженности по невыполненным заказам представляется нежелательным и ненужным иметь запас товаров. При таких обстоятельствах важно, чтобы не выполненные розничной торговлей заказы получили отражение в объеме заказов, не выполненных оптовыми базами. Иначе в высших звеньях системы не окажется наличных заказов, чтобы возобновить поток товаров, когда сбыт вновь станет возможным. Как мы позже увидим, уровень находящихся в каналах заказов *LAR* включает задолженность по заказам, не выполненным оптовыми базами. Однако, если член, характеризующий объем невыполненных заказов, не будет включен в уравнение 13-9, то мы увидим, что не выполненные оптовыми базами заказы будут отменены и сойдут на нет. Это случится потому, что при отсутствии снабжения все другие члены уравнения могут стать равными нулю. Тогда выражение *LAR*, входящее в уравнение с отрицательным знаком и определяющее необходимое заполнение каналов, включая в этих условиях только задолженность по не выполненным оптовыми базами заказам, приведет к отрицательному значению темпа размещения заказов на все время, пока не будет ликвидирована задолженность в оптовой торговле. Положительный член уравнения *UOR* уравновешивает в этом случае отрицательный член *LAR*, так что задолженность по не выполненным оптовыми базами заказам сохраняется.

Выражение, описывающее *нормальный* для розничного торгового звена объем невыполненных заказов *UNR*, включено в уравнение таким образом, чтобы в условиях равновесия фактический запас в розничной торговле был равен желательному. При нормальных условиях равновесия два члена уравнения, относящиеся к каналам, взаимно погашаются; мы можем ожидать того же и в отношении двух членов, обозначающих запасы. Однако если бы член уравнения *UOR*, обозначающий объем невыполненных заказов, мог остаться в уравнении без корректирующего члена, отражающего нормальный уровень невыполненных заказов *UNR*, то члены, соответствующие запасам, должны были бы отличаться на величину, достаточную для того, чтобы это соответствовало объему невыполненных заказов *UOR*. Хотя можно подобрать такие значения для различных констант, определяющих запасы, при которых фактические запасы будут достигать желательного объема, было бы ошибкой и противоречило бы смыслу, который мы вкладываем в понятие «желательный запас», если бы фактическая величина запасов при стабильных условиях не стремилась бы стать равной их желательной величине.

Неустановившееся взаимодействие между членами уравнения, характеризующими наличие запасов, заполнение каналов и объем невыполненных заказов имеет существенное значение. Предположим, что количество имеющихся товаров *IAR* меньше по сравнению с желательным их количеством *IDR*. Это вызовет определенный темп размещения заказов, которые будут учтены в члене уравнения *LAR*, отражающем заполнение каналов. Когда заказы будут размещены в необходимом количестве, то в связи с включением величины дополнительных заказов в отрицательный член *LAR* уравнения общая величина выражения, заключенного в уравнении 13-9 в скобки, уменьшится до нуля. При поступлении товаров, заказанных для пополнения запасов, они будут переходить из заказов в канале *LAR* в наличный запас *IAR*, так что уравнение заказов будет продолжать оставаться сбалансированным. Таким образом, уравнение отражает возможность избежать повторного заказа товаров для пополнения запаса в следующие за моментом заказа периоды времени до того, как будут поставлены требуемые товары.

К анализу членов уравнения 13-9, заключенных в скобки, можно подойти с другой точки зрения. Сгруппировав положительные члены уравнения (*IDR.K*+*LDR.K*+*UOR.K*), можно представить желательное наличие товаров в розничной торговле как сумму желательного запаса, необходимого количества транспортируемых по каналам системы товаров и числа изделий, предназначенных для выполнения имеющихся заказов. Этой сумме будет противопоставлена отрицательная сумма членов уравнения (*IAR.K*+*LAR.K*+*UNR.K*), которые отражают существующий в данный момент запас товаров, товары, находящиеся в настоящее время в каналах, и невыполненные заказы в объеме, признаваемом нормальным.

Темп закупок, определяемый с помощью уравнения 13-9, зависит от значений нескольких переменных, которые еще не определены. Это, в частности, желательный (или необходимый) уровень заказов и товаров, находящихся в движении по каналам, связывающим розничную и оптовую торговлю. Необходимое количество заказов и товаров в этих каналах будет зависеть от их длины (то есть от общего запаздывания) и от среднего уровня продаж в розничной торговле, который необходимо обеспечить; такую зависимость можно представить следующим уравнением:

$$LDR.K=(RSR.K)(DCR+DMR+DFD.K+DTR), \qquad 13\text{-}10,\ A$$

где

LDR — желательный (или необходимый) для снабжения розничного звена уровень заказов в каналах (единицы);

RSR — усредненные требования к розничному звену (средний темп продаж) (единицы в неделю);

DCR — запаздывание оформления заказов в розничном звене (недели);

DMR — почтовое запаздывание отправленных из розничного звена заказов (недели);

DFD — запаздывание (переменное по величине) выполнения заказов оптовыми базами (недели);

DTR — запаздывание транспортировки товаров в розничное звено (недели).

Среднее суммарное число заказов и товаров *LDR*, которое должно находиться в движении по каналам, является результатом умножения среднего темпа продаж в секторе розничной торговли *RSR* на общее время, необходимое для совершения заказом полного кругооборота по каналам системы. Выражение в круглых скобках в правой части уравнения дает это общее запаздывание. Три составляющие этого запаздывания, связанные с оформлением заказов *DCR*, с доставкой заказа почтой *DMR* и с транспортировкой товаров *DTR*, являются величинами постоянными: в данном случае предполагается, что они не изменяются при изменении состояния изучаемой системы [1]. Запаздывание при выполнении заказов оптовыми базами *DFD* зависит от наличия запасов на этих базах, за счет которых могут быть выполнены заказы; оно является поэтому переменным по величине, как и аналогичное запаздывание в розничной торговле.

Фактическое содержимое каналов состоит из суммы заказов и товаров в различных участках каналов:

$$LAR.K=CPR.K+PMR.K+UOD.K+MTR.K, \qquad 13\text{-}11,\ A$$

где

LAR — фактический уровень выданных розничным звеном заказов, находящихся в каналах (единицы);

CPR — заказы в розничном звене на стадии оформления (единицы);

PMR — выданные розничным звеном заказы на закупки, находящиеся в почтовых каналах (единицы);

UOD — заказы, не выполненные оптовыми базами (единицы);

MTR — товары в пути к розничному звену (единицы).

Реальное количество, передаваемое по каналу, определяется в данном случае как вспомогательная переменная, равная сумме четырех уровней заказов и товаров, сложившихся на четырех участках канала.

Член уравнения 13-9, который нами еще не определен,— это нормальный уровень не выполненных розничной торговлей заказов *UNR*. Он равен среднему темпу продаж, умноженному на нормальное запаздывание выполнения заказов:

$$UNR.K=(RSR.K)(DHR+DUR), \qquad 13\text{-}12,\ A$$

где

UNR — нормальное для розничной торговли число невыполненных заказов (единицы);

RSR — усредненные требования к розничному звену, средний темп продаж (единицы в неделю);

DHR — минимальное запаздывание выполнения заказа розничным звеном (недели);

DUR — запаздывание выполнения заказов розничным звеном из-за отсутствия на складе некоторых товаров при нормальном общем объеме запасов (недели).

Нормальное запаздывание в розничной торговле состоит из двух компонентов — один представляет собой среднее минимальное время, необходимое для оформления документов, другой порожден обычными условиями отсут-

[1] При изучении динамики национальной экономики запаздывания в коммуникациях должны, вероятно, рассматриваться как переменные в тех случаях, когда экономическая активность достигает уровня, порождающего перегрузки в существующей транспортной сети.

ствия запасов некоторых видов товаров. Общее запаздывание, умноженное на средний темп продаж, дает «нормальное» ожидаемое число невыполненных заказов.

Уравнения с 13-1 по 13-12 полностью определяют уровни, темпы и вспомогательные переменные в розничной торговле, необходимые для составления уравнений темпов. Теперь надо составить уравнения, описывающие запаздывания. Рассмотрим три отдельных запаздывания — в размещении заказов, в пересылке заказов по почте из розничной торговли в оптовую и в доставке товаров с оптовых баз в розничную торговлю. На рис. 13-14 показана диаграмма потоков, дополненная уравнениями с 13-10 по 13-18 (включая запаздывания). Запаздывание выполнения заказов оптовой базой будет включено в диаграмму потоков позднее при описании оптовой торговли.

Мы используем запаздывание третьего порядка как наиболее точно отображающее наше интуитивное «ощущение» того, каким образом процесс оформления заказов, пересылка их по почте и доставка товаров реагируют на различные установившиеся и неустановившиеся вводы [1]. Запишем два уравнения: одно из них (уравнение уровня) будет определять количество, находящееся в процессе транспортировки; другое, записанное в «стенографической» форме, будет указывать на способ вычисления темпа на выходе. При выполнении расчетов с помощью вычислительной машины «функциональное обозначение» этого темпа на выходе может быть автоматически преобразовано в необходимые уравнения темпов и уровней с помощью простой программы. Уравнение, используемое ниже для определения темпа на выходе из запаздывания, не является поэтому действительным разностным уравнением, которое может быть решено, а служит просто указанием вычислительной машине, какой метод вычислений следует применить. Детальные инструкции, заложенные в программу вычислительной машины, обеспечивают автоматическое получение реальных уравнений.

Два уравнения, определяющие запаздывание третьего порядка при принятии решения о закупке и размещении заказов розничной торговли в оптовой, имеют следующий вид:

$$CPR.K=CPR.J+(DT)(PDR.JK-PSR.JK), \quad 13\text{-}13, L$$

$$PSR.KL=DELAY3(PDR.JK,\ DCR), \quad 13\text{-}14, R$$

где

CPR — заказы в розничном звене в стадии оформления (единицы);

PDR — темп закупок розничным звеном, устанавливаемый в результате решения (единицы в неделю);

PSR — выданные розничным звеном заказы на закупку товаров (единицы в неделю);

DCR — запаздывание оформления заказа в розничном звене (недели);

DELAY3 — функциональное обозначение (а не переменная), определяющее систему уравнений, описывающих запаздывание третьего порядка [1].

Уравнение 13-13 — это обычное уравнение уровня; уравнение 13-14 показывает, каким образом может быть определен темп на выходе. Следует заметить, что выражение *DELAY3* не является переменной, как другие группы символов, а обозначает функциональную зависимость запаздывания третьего порядка от темпа на входе *PDR* и запаздывания *DCR*. Оно указывает, какие операции должны быть выполнены над величинами. В нем утверждается, что должно быть образовано запаздывание третьего порядка, в котором темп ввода есть переменная *PDR*, определяемая в соответствии со своим уравнением, а величина запаздывания задана константой *DCR*.

Выход из запаздывания, связанного с процессом оформления заказа, служит вводом для почтового запаздывания. Почтовые операции также будут отображены показательным запаздыванием третьего порядка:

$$PMR.K=PMR.J+(DT)(PSR.JK-RRD.JK), \quad 13\text{-}15, L$$

$$RRD.KL=DELAY3(PSR.JK,\ DMR), \quad 13\text{-}16, R$$

где

PMR — выданные розничным звеном заказы на закупки, находящиеся в почтовых каналах (единицы);

PSR — выдаваемые розничным звеном заказы на закупку товаров (единицы в неделю);

RRD — требования (заказы), получаемые оптовыми базами (единицы в неделю);

[1] О запаздываниях подробнее см. в главе 8.

[1] В главе 8 даются реальные уравнения, которые решаются на каждом интервале времени для получения показательного запаздывания третьего порядка.

DMR — почтовые запаздывания заказов, отправленных из розничного звена оптовым базам (недели);
DELAY3 — функциональное обозначение, указывающее на уравнения запаздывания третьего порядка.

Как и прежде, уравнение 13-15 определяет количество, перемещаемое в запаздывании. Функция *DELAY3* в уравнении 13-16 указывает, каким образом можно определить тот темп на выходе из почтового запаздывания, который и является действительным темпом получения заказов оптовыми базами.

Чтобы завершить описание розничной торговли, нужно отобразить в модели транспортировку товаров из оптовых баз в розничную торговлю. Для этой цели запишем еще два уравнения, характеризующие запаздывание при этой транспортировке:

$$MTR.K=MTR.J+(DT)(SSD.JK-SRR.JK), \quad 13\text{-}17, L$$

$$SRR.KL=DELAY3\ (SSD.JK, DTR), \quad 13\text{-}18, R$$

где
MTR — товары в пути к розничному звену (единицы);
SSD — поставки, осуществленные из запасов оптовых баз (единицы в неделю);
SRR — поставки, пополнившие запасы розничной торговли (единицы в неделю);
DTR — запаздывание транспортировки товаров в розницу (недели);
DELAY3 — функциональное обозначение, указывающее на уравнения запаздывания третьего порядка.

Вводом в запаздывание транспортировки служит темп на выходе из запасов оптовой торговли. Выход *SRR* из запаздывания при поставке служит вводом в запасы товаров розничной торговли, как этого требует уравнение 13-2. Как и прежде, уравнение 13-17 определяет объем транспортируемых товаров, а уравнение 13-18 дает необходимые указания для вычисления темпа выхода в соответствии с характеристиками запаздывания третьего порядка.

Полученную совокупность систем уравнений мы предполагаем использовать для отображения в модели операций в розничной торговле. Эти уравнения не являются независимыми, поскольку в них входят некоторые переменные (*SSD*, *UOD*, *DFD*), относящиеся к оптовой торговле.

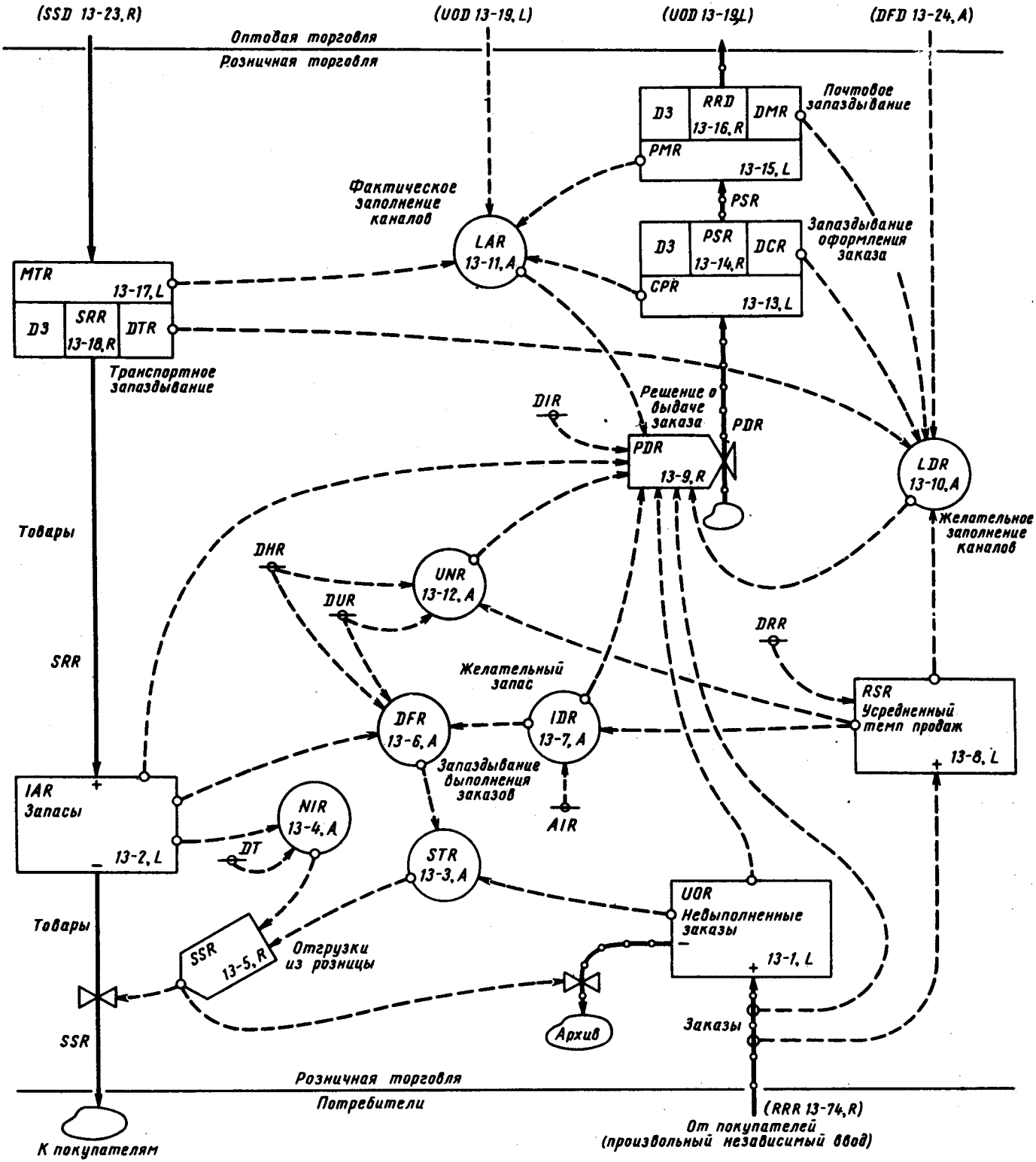
13.5.2. Уравнения для сектора оптовой торговли. Уравнения, которые мы уже построили для торговли, связаны с общими характеристиками таких операций, как получение товаров, получение заказов, поставка товаров и размещение заказов на возмещение запасов. Если не ждать, пока в модели будут отражены некоторые различия частного порядка в поведении розничной и оптовой торговли, то представится возможным использовать уже полученную систему уравнений для отображения оптовой торговли. Поэтому мы сразу запишем восемнадцать уравнений, аналогичных по форме предыдущим уравнениям; при этом константы, определяющие запаздывания и другие параметры системы, не обязательно должны быть, конечно, одинаковыми для розничной и оптовой торговли. Если бы в конкретной реальной системе имели место явные различия в критериях при принятии решений в этих звеньях, то тогда возникла бы необходимость формулировки разных систем уравнений. Следует иметь в виду, что даже при одинаковых формах уравнений выбор различных значений параметров дает возможность получать в модели разные уровни запасов, различные интервалы запаздываний при оформлении заказов и выполнении операций с товарами, а также различные правила в отношении темпа регулирования запасов.

Уравнения для оптовой торговли будут сопровождаться лишь самыми краткими пояснениями, поскольку к ним в равной степени применимы почти все изложенные выше соображения, касающиеся розничной торговли. Уравнение невыполненных заказов в оптовой торговле аналогично уравнению 13-1 для розничной торговли:

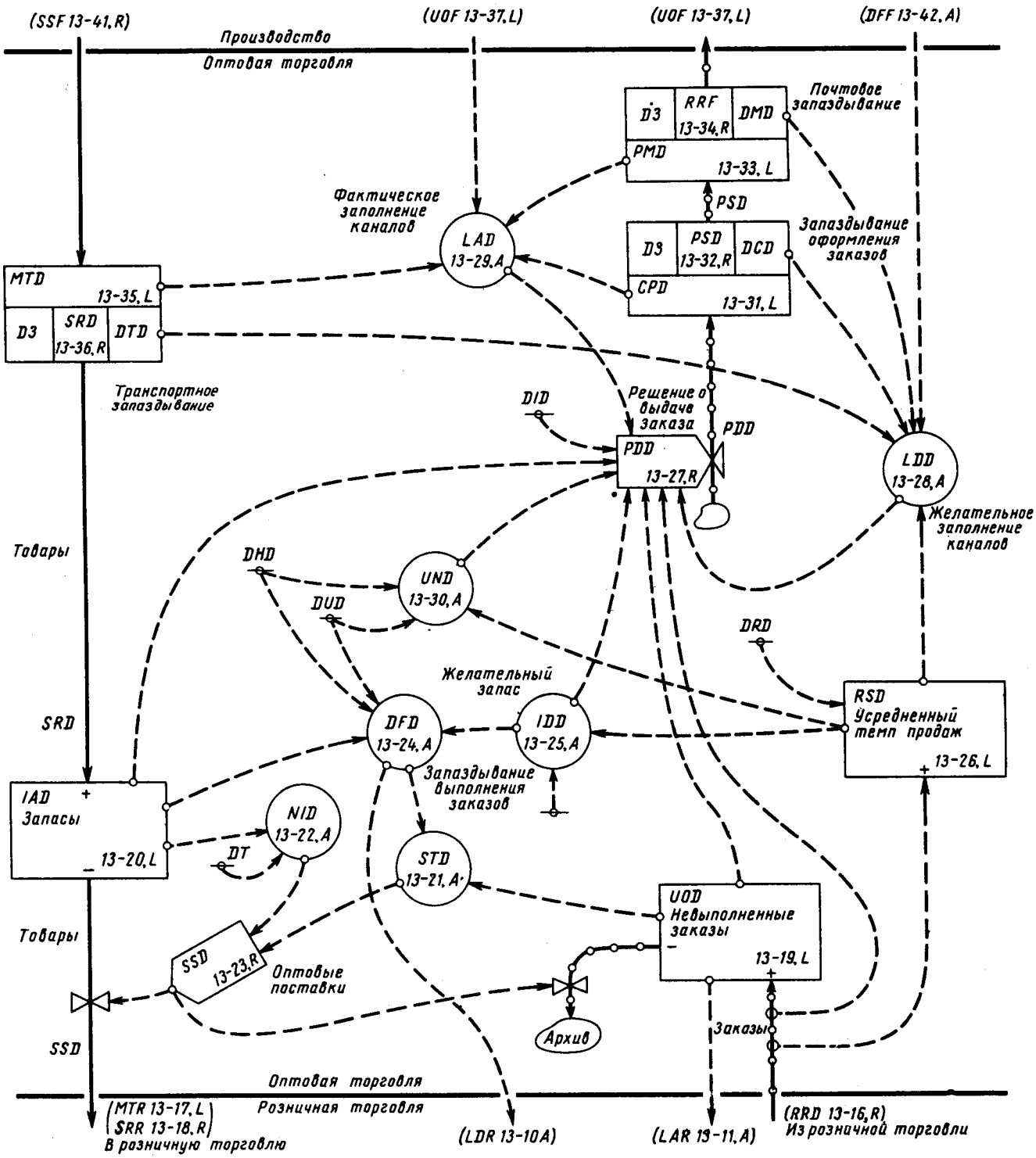
$$UOD.K=UOD.J+(DT)(RRD.JK-SSD.JK), \quad 13\text{-}19, L$$

где
UOD — заказы, не выполненные оптовыми базами (единицы);
RRD — требования (заказы), получаемые оптовыми базами (единицы в неделю);
SSD — оптовые поставки (единицы в неделю);
DT — интервал времени между решениями уравнений (недели).

Это уравнение баланса, определяющее новый уровень невыполненных заказов, исходя из предыдущего уровня невыполненных заказов, а также вновь поступивших и выполненных заказов.



Р и с. 13-14. Диаграмма потоков в розничной торговле.



Р и с. 13-15. Диаграмма потоков в оптовой торговле.

На рис. 13-15 показана диаграмма потоков для оптовой торговли.

Уравнение запасов оптовой торговли аналогично уравнению 13-2:

$$IAD.K=IAD.J+(DT)(SRD.JK-SSD.JK), \qquad 13\text{-}20,\ L$$

где

IAD — фактический запас товаров на оптовых базах (единицы);

SRD — поставки, получаемые оптовыми базами (единицы в неделю);

SSD — поставки с оптовых баз (единицы в неделю).

Темп поставок с оптовых баз описывается следующими уравнениями, аналогичными уравнениям 13-3, 13-4 и 13-5:

$$STD.K=\frac{UOD.K}{DFD.K}, \qquad 13\text{-}21,\ A$$

$$NID.K=\frac{IAD.K}{DT}, \qquad 13\text{-}22,\ A$$

$$SSD.KL=\begin{cases} STD.K, & \text{если } NID.K \geqslant STD.K \\ NID.K, & \text{если } NID.K < STD.K \end{cases}, \qquad 13\text{-}23,\ R$$

где

STD — проверяемый темп оптовых поставок (единицы в неделю);

UOD — заказы, не выполненные оптовыми базами (единицы);

DFD — запаздывание (переменное по величине) выполнения заказов оптовыми базами (недели);

NID — предельный темп оптовых поставок (единицы в неделю);

IAD — фактический запас на оптовых базах (единицы);

DT — интервал времени между решениями (недели);

SSD — оптовые поставки (единицы в неделю).

Уравнение 13-21 определяет проверяемый темп оптовых поставок; его необходимо сопоставить с темпом, при котором возникают отрицательные значения запаса товаров (уравнение 13-22). В качестве фактического темпа поставок принимается меньший из двух темпов (уравнение 13-23).

Как и в уравнении 13-6, переменное запаздывание, отражающее среднюю задержку в выполнении заказов оптовыми базами, равно:

$$DFD.K=DHD+DUD\frac{IDD.K}{IAD.K}, \qquad 13\text{-}24,\ A$$

где

DFD — запаздывание в выполнении заказов оптовыми базами (недели);

DHD — минимальное запаздывание выполнения заказов оптовыми базами, определяемое временем оформления документов (недели);

DUD — среднее запаздывание выполнения заказов оптовыми базами из-за отсутствия на складе некоторых товаров при общем «нормальном» объеме запасов (недели);

IDD — желательный запас на оптовых базах (единицы);

IAD — фактический запас на оптовых базах (единицы).

Как и в уравнениях 13-7 и 13-8, желательный запас на оптовых базах и средний темп поступающих на эти базы требований определяются следующим образом:

$$IDD.K=(AID)(RSD.K), \qquad 13\text{-}25,\ A$$

$$RSD.K=RSD.J+(DT)\left(\frac{1}{DRD}\right)\times \times (RRD.JK-RSD.J), \qquad 13\text{-}26,\ L$$

где

IDD — желательный запас на оптовых базах (единицы);

AID — коэффициент пропорциональности (недели);

RSD — усредненные требования к оптовым базам (единицы в неделю);

DRD — запаздывание усреднения данных о поступающих на оптовые базы требованиях; постоянная времени усреднения (недели);

RRD — требования (заказы), получаемые оптовыми базами (единицы в неделю).

Уравнение, определяющее решение оптовых баз о закупке товаров, мы запишем в той же форме, что и уравнение 13-9:

$$PDD.KL=RRD.JK+\left(\frac{1}{DID}\right)\times \times [(IDD.K-IAD.K)+(LDD.K-LAD.K)+ +(UOD.K-UND.K)], \qquad 13\text{-}27,\ R$$

где

PDD — темп оптовых закупок, устанавливаемый в результате решения (единицы в неделю);

RRD — требования (заказы), получаемые оптовыми базами (единицы в неделю);

DID — запаздывание регулирования запасов (и заполнения каналов) в оптовой торговле (недели);
IDD — желательный запас на оптовых базах (единицы);
IAD — фактический запас на оптовых базах (единицы);
LDD — желательное заполнение каналов заказами, направляемыми оптовым базам (единицы);
LAD — фактическое заполнение каналов заказами, направляемыми оптовым базам (единицы);
UOD — заказы, не выполненные оптовыми базами (единицы);
UND — нормальный для оптовых баз объем невыполненных заказов (единицы).

Уравнения заказов и товаров, необходимых для заполнения каналов между оптовыми базами и производством, и соответствующее фактическое наличие заказов и товаров, перемещаемых по этим каналам, аналогичны уравнениям 13-10 и 13-11:

$$LDD.K=(RSD.K)(DCD+DMD+DFF.K+\\ +DTD), \qquad 13\text{-}28, A$$

где
LDD — желательное заполнение каналов заказами, направляемыми оптовым базам (единицы);
RSD — усредненные требования к оптовой торговле (единицы в неделю);
DCD — запаздывание оформления заказов в оптовой торговле (недели);
DMD — почтовое запаздывание заказов, отправленных из оптовой торговли (недели);
DFF — запаздывание (переменное по величине) выполнения заказов производством (недели);
DTD — запаздывание транспортировки товаров к оптовым базам (недели).

$$LAD.K=CPD.K+PMD.K+UOF.K+\\ +MTD.K, \qquad 13\text{-}29, A$$

где
LAD — фактическое заполнение каналов заказами, направляемыми оптовым базам (единицы);
CPD — заказы в оптовой торговле в стадии оформления (единицы);
PMD — выданные оптовыми базами заказы на закупки, находящиеся в почтовых каналах (единицы);
UOF — заказы, не выполненные производством (единицы);
MTD — товары в пути к оптовым базам (единицы).

Как и в уравнении 13-12, «нормальный» объем невыполненных заказов зависит от нормального запаздывания выполнения заказов и среднего уровня деловой активности:

$$UND.K=(RSD.K)(DHD+DUD), \qquad 13\text{-}30, A$$

где
UND — нормальный для оптовой торговли объем невыполненных заказов (единицы);
RSD — усредненные требования (заказы) к оптовой торговле (единицы в неделю);
DHD — минимальное запаздывание выполнения заказов оптовыми базами (недели);
DUD — среднее запаздывание выполнения заказов оптовыми базами из-за отсутствия на складе некоторых товаров при «нормальном» общем объеме запасов (недели).

Запаздывания размещения заказов на закупку товаров и пересылки этих заказов по почте на завод, аналогичные соответствующим запаздываниям в розничной торговле (см. уравнения с 13-13 по 13-16), определяются следующими четырьмя уравнениями:

$$CPD.K=CPD.J+(DT)(PDD.JK-PSD.JK), \qquad 13\text{-}31, L$$

$$PSD.KL=DELAY3(PDD.JK, DCD), \qquad 13\text{-}32, R$$

$$PMD.K=PMD.J+(DT)(PSD.JK-RRF.JK), \qquad 13\text{-}33, L$$

$$RRF.KL=DELAY3(PSD.JK, DMD), \qquad 13\text{-}34, R$$

где
CPD — заказы в оптовой торговле в стадии оформления (единицы);
PDD — темп оптовых закупок, устанавливаемый в результате решения (единицы в неделю);
PSD — выданные оптовыми базами заказы на закупку товаров (единицы в неделю);
DCD — запаздывание оформления заказов оптовой торговле (недели);
PMD — выданные оптовыми базами заказы на закупку товаров, находящиеся в почтовых каналах (единицы);

RRF — требования (заказы), получаемые производством (единицы в неделю);
DMD — почтовое запаздывание отправленных из оптовой торговли заказов (недели);
DELAY3 — функциональное обозначение, указывающее на уравнения запаздывания третьего порядка.

Остальные два уравнения для оптовой торговли описывают запаздывания доставки товаров, поступающих с завода. Они соответствуют уравнениям 13-17 и 13-18 для розничной торговли:

$$MTD.K=MTD.J+(DT)(SSF.JK-SRD.JK), \quad 13\text{-}35, L$$

$$SRD.K=DELAY3\,(SSF.JK, DTD), \quad 13\text{-}36, R$$

где
MTD — товары в пути к оптовым базам (единицы);
SSF — товары, отправленные с завода (единицы в неделю);
SRD — товары, полученные оптовыми базами (единицы в неделю);
DTD — запаздывание транспортировки товаров к оптовым базам (недели);
DELAY3 — функциональное обозначение, указывающее на уравнения запаздывания третьего порядка.

Эти два уравнения завершают систему из восемнадцати уравнений, с помощью которых в модели отображается деятельность в оптовой торговле.

13.5.3. Уравнения для производства. В производстве многие функции, описывающие процесс выполнения заказов, схожи с соответствующими функциями для оптовой и розничной торговли. Однако производству присущи некоторые организационные особенности. Мы будем считать, что завод и заводской склад находятся в непосредственной близости один к другому. Поэтому мы не будем вводить запаздывания, связанные с пересылкой заказов по почте или с транспортировкой товаров между складом и заводом; в то же время необходимо учитывать, что после принятия решения об изменении темпа производства проходит определенное время, прежде чем начнет изменяться темп выпуска продукции.

Прежде всего мы рассмотрим те уравнения для производства, которые сходны с уравнениями для розничной и оптовой торговли. На рис. 13-16 дана диаграмма потоков, описываемых приводимыми ниже уравнениями. Уравнения для невыполненных заказов и имеющихся запасов подобны уравнениям 13-1 и 13-2:

$$UOF.K=UOF.J+(DT)(RRF.JK-SSF.JK), \quad 13\text{-}37, L$$

$$IAF.K=IAF.J+(DT)(SRF.JK-SSF.JK), \quad 13\text{-}38, L$$

где
UOF — заказы, не выполненные производством (единицы);
RRF — требования (заказы), получаемые производством (единицы в неделю);
SSF — поставки, осуществляемые с заводского склада (единицы в неделю);
IAF — фактический запас на заводском складе (единицы);
SRF — поставки товаров на заводской склад (выпуск готовой продукции) (единицы в неделю).

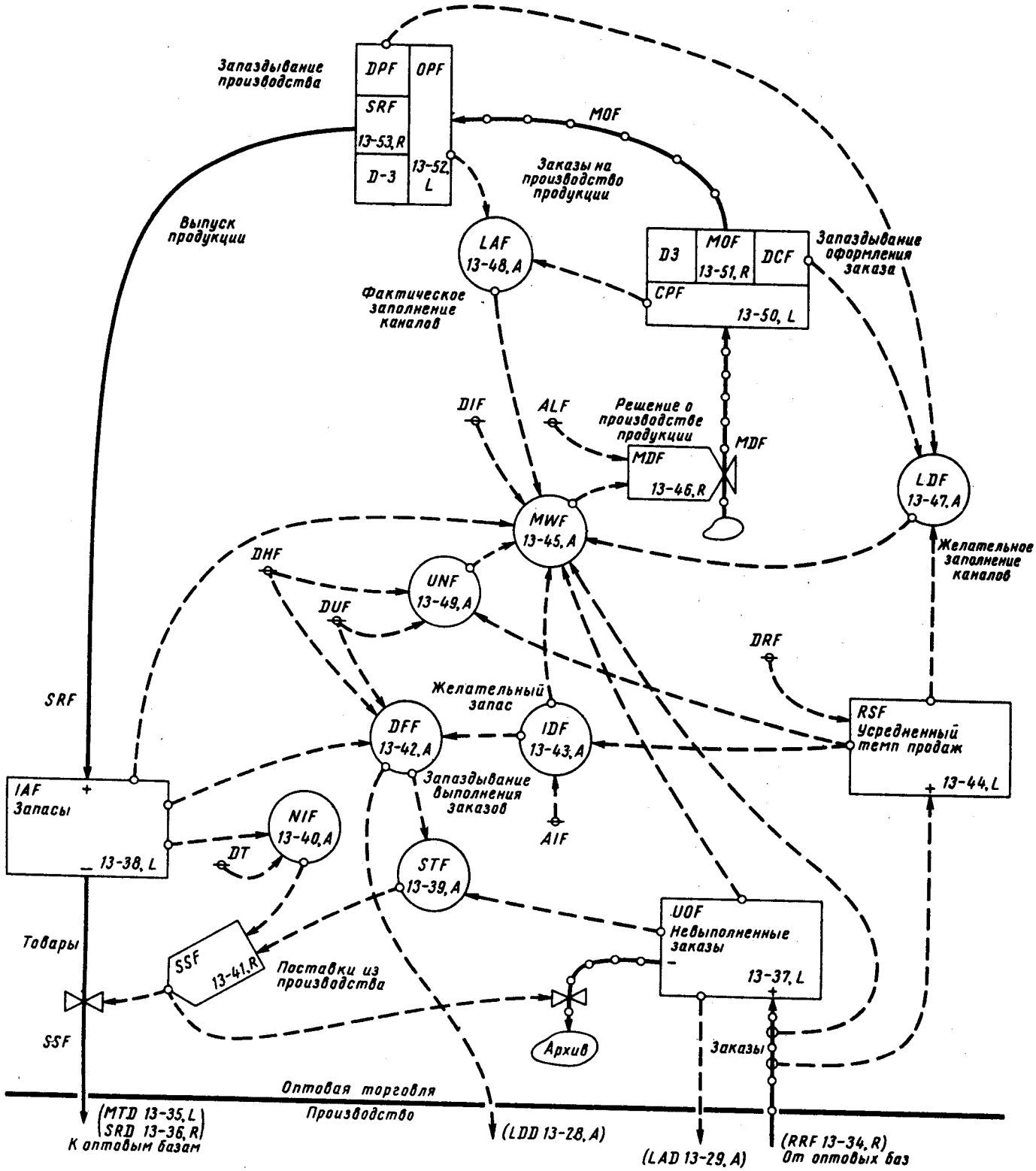
Допустим, что заводской склад осуществляет хранение и поставку различного рода товаров. При этом мы, как и раньше, подразумеваем, что запаздывание поставок товаров обладает свойством постепенно увеличиваться при уменьшении уровня запасов. Соответственно наше представление о темпе поставок будет отображаться такими же уравнениями, как и уравнения 13-3, 13-4 и 13-5:

$$STF.K=\frac{UOF.K}{DFF.K}, \quad 13\text{-}39, A$$

$$NIF.K=\frac{IAF.K}{DT}, \quad 13\text{-}40, A$$

$$SSF.KL=\begin{Bmatrix} STF.K, \text{ если } NIF.K \geqslant STF.K \\ NIF.K, \text{ если } NIF.K < STF.K \end{Bmatrix}, \quad 13\text{-}41, R$$

где
STF — проверяемый темп заводских поставок (единицы в неделю);
UOF — заказы, не выполненные производством (единицы);
DFF — запаздывание (переменное по величине) выполнения заказов производством (недели);
NIF — предельный темп заводских поставок (единицы в неделю);
IAF — фактический запас в производстве (единицы);
DT — интервал времени между решениями (недели);
SSF — поставки с заводского склада (единицы в неделю).



Р и с. 13-16. Диаграмма потоков в производстве

Уравнения запаздывания выполнения заказов, величины желательного запаса и усредненного темпа продаж по форме будут такими же, как и приведенные выше уравнения 13-6, 13-7 и 13-8:

$$DFF\,K = DHF + DUF\,\frac{IDF.K}{IAF.K}, \qquad 13\text{-}42,\ A$$

$$IDF.K = (AIF)(RSF.K), \qquad 13\text{-}43,A$$

$$RSF.K = RSF.J + (DT)\left(\frac{1}{DRF}\right) \times$$
$$\times\,(RRF.JK - RSF.J), \qquad 13\text{-}44,\ L$$

где

DFF — запаздывание (переменное по величине) выполнения заказов производством (недели);

DHF — минимальное запаздывание выполнения заказа производством (недели);

DUF — среднее запаздывание выполнения заказов производством из-за отсутствия на складе некоторых товаров при общем «нормальном» объеме запасов (недели);

IDF — желательный запас в производстве (единицы);

IAF — фактический запас в производстве (единицы);

AIF — коэффициент пропорциональности (недели);

RSF — усредненные требования к производству (единицы в неделю);

DRF — запаздывание в усреднении требований к производству (недели);

RRF — требования (заказы), получаемые производством (единицы в неделю).

Рассмотрим теперь вопрос о принятии решения, связанного с темпом производства. В реальной ситуации на него могут влиять различные практические соображения, определяемые производственными возможностями. Однако большая часть оборудования может использоваться в широком диапазоне производственных мощностей. Поэтому в данном примере мы допустим, что темп производства может изменяться непрерывно от нуля до некоторой максимальной величины.

Желание производить товары в темпе, превышающем максимально возможный, не приведет к увеличению выпуска продукции сверх определенного предела. Следует заметить, что «явное» решение *хотеть* производить может быть принято вне зависимости от *способности* производить. Кроме того, реальный производственный план и поток заказов производству на изготовление продукции могут превосходить возможности предприятия, а раз так, то фактический выпуск будет регулироваться неявным, подразумеваемым решением, которое определяет зависимость выпуска продукции производством (его выходную реакцию) от таких условий, как уже имеющаяся загрузка, людские ресурсы, доступные материалы и оборудование. Чтобы в уравнения не пришлось включать детали внутренних условий предприятия, явное решение о темпе производства будет ограничено здесь производственными возможностями. В последующих главах будет показано, как это ограничение может быть снято.

Уравнение желательного темпа производства будет иметь ту же форму, что и уравнение 13-9 для темпа размещения заказов розничной торговли. В этом уравнении учитывается темп продаж, состояние запасов, незавершенного производства и невыполненных заказов:

$$MWF.K = RRF.JK + \left(\frac{1}{DIF}\right) \times$$
$$\times\,[(IDF.K - IAF.K) + (LDF.K - LAF.K) +$$
$$+ (UOF.K - UNF.K)], \qquad 13\text{-}45,\ A$$

где

MWF — желательный темп выпуска продукции (единицы в неделю);

RRF — требования (заказы), получаемые производством (единицы в неделю);

DIF — запаздывание регулирования запасов (и заполнения каналов) в производстве (недели);

IDF — желательный запас на заводе (единицы);

IAF — фактический запас на заводе (единицы);

LDF — желательный уровень заказов, передаваемых по каналам производства (единицы);

LAF — фактический уровень заказов, передаваемых по каналам производства (единицы);

UOF — заказы, не выполненные производством (единицы);

UNF — нормальное для производства число невыполненных заказов (единицы).

Уравнение 13-45 — это скорее вспомогательное уравнение, чем уравнение темпа, поскольку полученный из него результат должен быть еще сопоставлен с максимальной производственной мощностью предприятия. Производственная мощность не имеет резко очерченной границы; она зависит от величины рабочей недели, численности работающих и производительности труда; однако, если бы мы стали вносить в модель эти уточнения, то она про-

должала бы расширяться и вышла бы за те пределы, которыми мы, говоря о первоначальных целях моделирования, решили себя ограничить. Поэтому мы будем характеризовать возможности производства величиной темпа, равного потребному, до тех пор, пока последний будет меньше производственной мощности. При этом мы будем полагать, что выпуск продукции будет следовать с определенным запаздыванием за запуском изделий в производство.

Следующее уравнение определяет решение о темпе производства товаров как наименьшем из двух темпов — желательного и ограниченного производственной мощностью:

$$MDF.KL = \begin{cases} MWF.K, & \text{если } ALF \geqslant MWF.K \\ ALF, & \text{если } ALF < MWF.K \end{cases}, \quad 13\text{-}46,\ R$$

где

MDF — темп производства товара, определяемый в результате решения (единицы в неделю);
MWF — желательный темп производства (единицы в неделю);
ALF — константа, характеризующая предельную производственную мощность (единицы в неделю).

Описание явлений, относящихся к каналам производства, будет проще, чем в случае оптовой или розничной торговли, поскольку мы полагаем, что здесь отсутствуют запаздывания доставки заказов по почте и транспортировки товаров как внутри производства, так и при отправке товаров. Мы также допускаем, что производственная мощность известна уже при первоначальном размещении заказов, так что возможность выполнения заказов производством не вызывает сомнения, и поэтому задолженность по не выполненным производством заказам отсутствует. Наши допущения равносильны утверждению о том, что имеющиеся трудовые и материальные ресурсы не будут ограничивать производства, если не говорить об ограничении, выраженном в максимуме темпа производства. В этом случае уравнения заполнения производственных каналов и нормального уровня невыполненных заказов будут иметь следующий вид:

$$LDF.K=(RSF.K)(DCF+DPF), \quad 13\text{-}47,\ A$$
$$LAF.K=(CPF.K+OPF.K), \quad 13\text{-}48,\ A$$
$$UNF.K=(PSF.K)(DHF+DUF), \quad 13\text{-}49,\ A$$

где

LDF — желательный уровень заказов в каналах производства (единицы);
RSF — усредненные требования (заказы) к производству (единицы в неделю);
DCF — запаздывание оформления заказов на заводе (недели);
DPF — запаздывание, связанное с затратой времени на производство продукции (недели);
LAF — фактический уровень заказов в каналах производства (единицы);
CPF — заказы в процессе оформления на заводе (единицы);
OPF — заказы в производстве на заводе (единицы);
UNF — нормальный объем не выполненных производством заказов (единицы);
DHF — минимальное запаздывание выполнения заказа заводом (недели);
DUF — среднее запаздывание выполнения заказов заводом из-за отсутствия на складе некоторых товаров при «нормальном» общем объеме запасов (недели).

Как показывает опыт, для преобразования информации в решение о выборе определенного темпа производства необходимо некоторое время; оно может быть отображено, как и в уравнениях 13-13 и 13-14, с помощью показательного запаздывания:

$$CPF.K=CPF.J+(DT)(MDF.JK-MOF.JK), \quad 13\text{-}50,\ L$$
$$MOF.KL=DELAY3(MDF.JK,\ DCF), \quad 13\text{-}51,\ R$$

где

CPF — заказы в процессе оформления на заводе (единицы);
MDF — темп производства, определяемый принятым решением (единицы в неделю);
MOF — производственные заказы заводу (единицы в неделю);
DCF — запаздывание оформления производственных заказов на заводе (недели);
DELAY3 — функциональное обозначение, указывающее на уравнения запаздывания третьего порядка.

Теперь рассмотрим непосредственно производственный процесс. Решение о производстве продукции уже ограничено мощностью предприятия. Мы допускаем, что рабочая сила и ма-

териалы не накладывают никаких других ограничений на выпуск продукции. Выпуск готовой продукции будет поэтому зависеть от полученных заводом заказов и изменяться вслед за изменением темпа поступления заказов с некоторым запаздыванием. В зависимости от величины и характера изменения темпа производства мы будем выбирать ту или иную из различных возможных функций запаздывания. Для целей, которые мы ставим перед собой в настоящее время, удовлетворительным является запаздывание третьего порядка. Если бы первоначальная подготовка к изменению темпа выпуска продукции потребовала весьма большой затраты времени, после чего темп стал бы быстро возрастать, то было бы целесообразно выбрать запаздывание шестого порядка [1]. Так как мы не имеем в виду отображать каждый отдельный производственный процесс, то воспользуемся запаздыванием третьего порядка, поскольку оно типично и характерно для обычных обстоятельств, с которыми, как мы ожидаем, нам придется встречаться. В этом случае мы получим следующие уравнения:

$$OPF.K=OPF.J+(DT)(MOF.JK-SRF.JK), \quad 13\text{-}52,\ L$$

$$SRF.KL=DELAY3(MOF.JK,\ DPF), \quad 13\text{-}53,\ R$$

где

OPF — заказы в производстве на заводе (единицы).

MOF — темп поступления производственных заказов на завод (единицы в неделю);

SRF — пополнение запасов на заводе (выпуск готовой продукции) (единицы в неделю);

DPF — запаздывание, связанное с первоначальной подготовкой производства на предприятии (недели);

DELAY3 — функциональное обозначение, указывающее на уравнения запаздывания третьего порядка.

Окончив составление системы уравнений для производства и не вводя каких-либо новых переменных, мы завершили теперь формальное математическое описание системы, которую намереваемся изучать. Единственная не определенная нами переменная в предшествующей системе — это темп розничных продаж *RRR*. Построенная нами модель не предполагает отображения характеристик самого рынка сбыта. Поэтому темп продаж товаров покупателям будет приниматься различным в разное время, с тем чтобы проследить, каким образом производственная и сбытовая система будут реагировать на различные условия продажи товаров.

13.5.4. Начальные условия. Уравнения с 13-1 по 13-53 должны решаться периодически в моменты времени, разделенные между собой интервалом *DT*. Для того чтобы решить эти уравнения в первый раз, необходимо знать исходные значения переменных. В большинстве исследований с использованием такого типа моделей, как в нашем случае, легче и проще всего избежать ошибок, если начать с изучения системы, находящейся в стабильных условиях и не испытывающей в начальный момент времени возмущений. Поскольку розничные продажи *RRR* являются единственным независимым вводом, это означает, что допускается неизменность розничных продаж в прошлом. Кроме того, в начальный момент времени система будет находиться в состоянии равновесия независимо от того, является ли она устойчивой. Если в данном положении равновесие неустойчиво, любое возмущение будет вызывать растущее отклонение от исходных условий.

Последовательность вычислений для основной системы уравнений такова, что сначала решаются уравнения уровней, затем вспомогательные уравнения и, наконец, уравнения темпов. Для того чтобы начать вычисления, необходимо знать константы (или уравнения), определяющие величины всех *уровней* в начальный момент. Кроме того, если мы допускаем использование значений какого-либо темпа для определения другого темпа [1], то нам необходимо знать константы (или уравнения) для определения всех *темпов*, фигурирующих в правой части вспомогательных уравнений и уравнений темпов.

Задавшись этими исходными значениями, можно определить уровни в начальный момент, а также необходимые для последующих вычислений темпы в предшествующий начальному моменту период. После этого можно вычислить значения вспомогательных переменных, которые зависят от исходных уровней и некоторых темпов, имевших место непосредственно перед начальным моментом. После определения вспомогательных переменных можно рассчитать переменные темпы для периода времени, следующего непосредственно за исходным моментом. После этого выполняется обычная последовательность

[1] См. главу 8.

[1] См. разделы 5.1 и 6.1 относительно целесообразности использования темпов в других уравнениях темпов.

вычислений уровней, вспомогательных переменных и темпов, которая затем периодически повторяется.

Как правило, лучше всего устанавливать начальные значения на основе внешних вводов и параметров системы таким образом, чтобы можно было изменять значения параметров в уравнениях, не вызывая при этом необходимости пересоставлять уравнения для определения исходных значений, к построению которых мы сейчас переходим.

Начальные и предшествующие значения требований к розничной торговле RRR должны быть заданы численно:

$$RRR=RRI, \qquad 13\text{-}54, N$$

где

RRR — исходная величина требований (заказов), получаемых розницей (единицы в неделю);

RRI — исходный темп требований к рознице, константа (единицы в неделю);

Буква N после номера уравнения показывает, что это уравнение, определяющее исходную величину. Обозначение времени при переменных в уравнениях исходных величин не применяется.

Первый уровень, с которым мы встречаемся в системе,— это задолженность по не выполненным розницей заказам UOR, определяемая уравнением 13-1. Нормальный установившийся уровень этой переменной дается уравнением 13-12, определяющим нормальный уровень не выполненных розницей заказов UNR:

$$UOR=(RSR)(DHR+DUR), \qquad 13\text{-}55, N$$

где

UOR — исходное число заказов, не выполненных розницей (единицы);

RSR — исходная величина усредненных требований к рознице (единицы в неделю);

DHR — минимальное запаздывание выполнения заказа розницей (недели);

DUR — среднее запаздывание выполнения заказов розницей из-за отсутствия на складе некоторых товаров при общем «нормальном» объеме запаса (недели).

Исходная величина фактического запаса IAR может быть равна желательному уровню, определяемому уравнением 13-7:

$$IAR=(AIR)(RSR), \qquad 13\text{-}56, N$$

где

IAR — исходная величина фактического запаса в розничной торговле (единицы);

AIR — постоянный коэффициент пропорциональности (отношение желательного запаса к недельной продаже) (недели);

RSR — исходная величина усредненных требований к розничному звену (единицы в неделю).

Следующий уровень в системе уравнений определяет усредненный темп розничных продаж, который при установившихся условиях будет равен постоянному предшествующему темпу продаж:

$$RSR=RRR, \qquad 13\text{-}57, N$$

где

RSR — исходная величина усредненных требований к розничному звену (единицы в неделю);

RRR — исходное число требований (заказов), получаемых розничным звеном (единицы в неделю).

Используя уже известные исходные величины, можно решить уравнения 13-3, 13-4, 13-5, 13-6, 13-7, которые определяют значения вспомогательных переменных и устанавливают темп розничных отгрузок SSR, который равен исходному темпу требований к розничному звену RRI в установившихся условиях.

Теперь необходимо определить исходные количества заказов и товаров, движущихся по каналам системы. В установившихся условиях темпы потоков в каналах между розничной и оптовой торговлей будут равны темпу розничных продаж. Произведение этого темпа на продолжительность запаздывания даст количество, находящееся в запаздывании. Уравнения для процессов оформления и пересылки заказов по почте и транспортировки товаров в этом случае будут иметь следующий вид:

$$CPR=(DCR)(RRR), \qquad 13\text{-}58, N$$
$$PMR=(DMR)(RRR), \qquad 13\text{-}59, N$$
$$MTR=(DTR)(RRR), \qquad 13\text{-}60, N$$

где

CPR — исходное количество заказов в стадии оформления в розничном звене (единицы);

DCR — запаздывание оформления заказа в розничном звене (недели);

RRR — исходная величина требований (заказов), получаемых розничным звеном (единицы в неделю);
PMR — исходное количество выданных розничным звеном заказов на закупки, находящихся в почтовых каналах (единицы);
DMR — почтовое запаздывание отправленных из розничного звена заказов (недели);
MTR — исходное количество товаров в пути к розничному звену (единицы);
DTR — запаздывание транспортировки товаров в розничное звено (недели).

На основе определенных выше исходных величин и исходного числа не выполненных оптовыми базами заказов *UOD*, которое можно заимствовать из перечня исходных величин для оптового звена, становится возможным решить уравнение 13-9 для темпа выдачи розничным звеном заказов на закупку товаров *PDR*.

При установившихся начальных условиях сумма всех членов уравнения 13-9, заключенных в скобки, равна нулю; поэтому темп выдачи заказов будет равен темпу розничных продаж.

Уравнения исходных величин целесообразно проверить, чтобы быть уверенным в том, что они будут давать ожидаемые начальные значения вспомогательных величин и переменных темпов. Иногда очень легко сформулировать такую систему уравнений, при которой фактически устанавливающиеся условия не будут совпадать с желательными и где они на первый взгляд не будут такими, какими должны были бы быть. Этот момент был упомянут ранее, как один из доводов в пользу включения в уравнение темпа закупок 13-9 члена, характеризующего нормальный уровень невыполненных заказов.

Дополнительные уравнения для определения исходных величин, характеризующих оптовую торговлю, будут иметь следующий вид:

$RRD=RRR$, 13-61, *N*
$UOD=(RSD)(DHD+DUD)$, 13-62, *N*
$IAD=(AID)(RSD)$, 13-63, *N*
$RSD=RRD$, 13-64, *N*
$CPD=(DCD)(RRD)$, 13-65, *N*
$PMD=(DMD)(RRD)$, 13-66, *N*
$MTD=(DTD)(RRD)$, 13-67, *N*

где

RRD — исходная величина требований (заказов), получаемых оптовыми базами (единицы в неделю);
RRR — исходная величина требований (заказов) к розничному звену (единицы в неделю);
UOD — исходное число заказов, не выполненных оптовыми базами (единицы);
RSD — исходная величина усредненных требований к оптовым базам (единицы в неделю);
DHD — минимальное запаздывание выполнения заказа оптовыми базами (недели);
DUD — среднее запаздывание выполнения заказов оптовыми базами из-за отсутствия на складе некоторых товаров при общем «нормальном» объеме запасов (недели);
IAD — исходная величина фактического запаса на оптовых базах (единицы);
AID — постоянный коэффициент пропорциональности (недели);
CPD — исходное количество заказов в стадии оформления на оптовых базах (единицы);
DCD — запаздывание оформления заказов на оптовых базах (недели);
PMD — исходное число выданных оптовыми базами заказов на закупку товаров, находящихся в почтовых каналах (единицы);
DMD — почтовое запаздывание отправленных оптовыми базами заказов (недели);
MTD — исходное количество товаров в пути к оптовым базам (единицы);
DTD — запаздывание транспортировки товаров на оптовые базы (недели).

Подобная система уравнений для определения исходных величин применительно к производственному звену будет иметь вид:

$RRF=RRR$, 13-68, *N*
$UOF=(RSF)(DHF+DUF)$, 13-69, *N*
$IAF=(AIF)(RSF)$, 13-70, *N*
$RSF=RRF$, 13-71, *N*
$CPF=(DCF)(RRF)$, 13-72, *N*
$OPF=(DPF)(RRF)$, 13-73, *N*

где

RRF — исходная величина требований, получаемых производством (единицы в неделю);
RRR — исходная величина требований, получаемых розницей (единицы в неделю);
UOF — исходное число заказов, не выполненных производством (единицы);

RSF — исходная величина усредненных требований к производству (единицы в неделю);
DHF — минимальное запаздывание выполнения заказа производством (недели);
DUF — среднее запаздывание выполнения заказов производством из-за отсутствия на складе некоторых товаров при общем «нормальном» объеме запасов (недели);
IAF — исходный фактический запас в производстве (единицы);
AIF — постоянный коэффициент пропорциональности (недели);
CPF — исходное количество заказов в стадии оформления на заводе (единицы);
DCF — запаздывание оформления заказа на заводе (недели);
OPF — исходное количество заказов в производстве (единицы);
DPF — запаздывание, связанное с затратой времени на производство продукции (недели).

Уравнения с 13-54 по 13-73 дают исходные величины, необходимые для того, чтобы можно было начать решение уравнений с 13-1 по 13-53.

13.5.5. Параметры (константы) системы. Теперь, когда мы завершили формулирование уравнений, описывающих поведение системы, и уравнений, определяющих начальные условия, нам необходимо определить числовые значения параметров системы (величин, постоянных на протяжении каждого отдельного проигрывания модели).

Первый параметр, с которым мы встречаемся в уравнениях, является скорее параметром процесса вычисления, чем системы, как таковой. Это интервал решений *DT*. Интервал решений должен быть небольшой частью (менее одной шестой) отрезка времени, представленного в системе любым из запаздываний третьего порядка. Так как мы будем отражать в системе запаздывания длительностью порядка половины недели, то выберем следующий интервал решений:

$$DT = 0{,}05 \quad \text{недели}.$$

Поскольку в этой главе мы рассматриваем систему типичную или возможную, а не представляющую какую-либо конкретную фирму, мы не будем подробно останавливаться на выборе числовых значений параметров, а возьмем их вероятные значения с тем, чтобы позднее посмотреть, как влияет изменение значений параметров на характеристики системы.

Рассмотрим сначала запаздывания выполнения заказов розничной, оптовой торговлей и производством. Первый параметр связан с минимальным запаздыванием выполнения заказа в случае, когда необходимый товар имеется в запасе на складе. Предположим, что эти запаздывания будут порядка одной недели в каждом из трех подразделений системы:

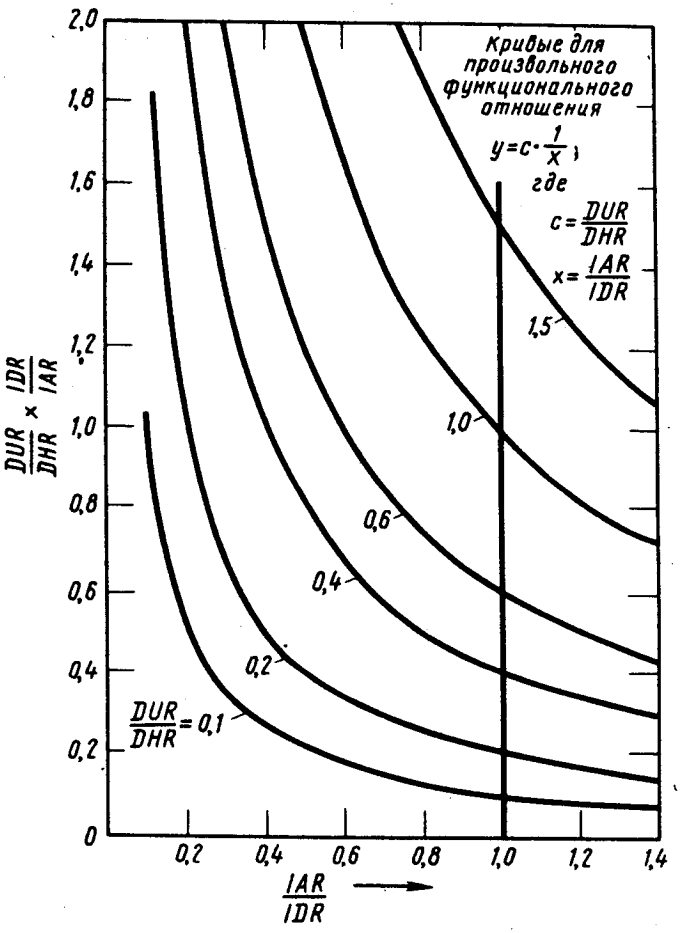
DHR = 1,0 недели — минимальное запаздывание в розничном звене;
DHD = 1,0 недели — минимальное запаздывание в оптовой торговле;
DHF = 1,0 недели — минимальное запаздывание обработки заказа на заводе.

Необходимо также выбрать величины запаздываний выполнения заказов из-за отсутствия на складе необходимого товара *DUR*, *DUD* и *DUF*. При рассмотрении уравнения 13-6 мы на основе интуитивных предположений установим, что эти запаздывания пропорциональны отношению желательного запаса к фактическому. С помощью модели можно проверить влияние на систему выбора и других видов функциональной взаимосвязи и различных значений постоянной запаздывания, связанного с отсутствием на складе необходимого товара.

На рис. 13-17 показан ряд функций, из которых мы должны сделать выбор. По вертикальной оси отложена та часть общего среднего запаздывания, которая связана с отсутствием на складе необходимого товара; она выражена в долях минимального запаздывания *DHR*. По горизонтальной оси отложено безразмерное отношение фактического запаса к желательному. Отдельные кривые показывают различные отношения запаздывания *DUR* (связанного с отсутствием на складе некоторых товаров в то время, как их суммарное количество *IAR* находится на желательном уровне *IDR*) к запаздыванию *DHR* (минимальному времени, необходимому для оформления заказа).

На рис. 13-17 проведена жирная вертикальная линия в том месте, где фактический запас равен желательному. Точки, в которых кривые пересекают эту линию, соответствуют такому отношению запаздываний *DUR* и *DHR*, которое будет иметь место в условиях «нормальной» величины общего запаса. Приведенные кривые показывают, сколь быстро изменяется среднее запаздывание выполнения заказа при изменении запаса. Пока мы придерживаемся определенного функционального отношения, задавае-

мого уравнениями 13-6, 13-24 и 13-42, мы не можем независимо выбирать величину запаздывания DUR при *нормальном* запасе товаров и скорость, с какой будет увеличиваться это запаздывание, при *сокращении* наличия товаров. Желательное соотношение между этими величинами можно установить, принимая различные функциональные отношения между запасом



Р и с. 13-17. Зависимость запаздывания от отношения запасов.

и запаздыванием [1]. Допустим, что кривые, обозначенные 0,4; 0,6 и 1,0, согласуются соответственно с нашей оценкой запаздываний выполнения заказов розничной и оптовой торговлей и производством из-за отсутствия на складах необходимых товаров. Для определения абсолютных величин этих запаздываний приведенные в обозначениях числа надо умножить на минимальное запаздывание, которое уже выбрано нами равным 1 неделе; поэтому запаздывания для розничной и оптовой торговли и производства будут равны соответственно:

$DUR = 0,4$ недели,
$DUD = 0,6$ недели,
$DUF = 1,0$ недели.

Принятие таких значений отношения запаздываний DUR и DHR означает, например, что, если запас товаров в рознице сократится до половины желательного количества, то среднее запаздывание выполнения заказа розничным звеном увеличится с 1,4 до 1,8 минимального времени, необходимого для выполнения заказа. В оптовой торговле соответствующее запаздывание увеличилось бы с 1,6 до 2,2 раза по сравнению с минимальным, а в производстве — с 2 до 3 раз. Оценка достоверности этих значений в конкретной ситуации могла бы быть произведена на основе анализа движения типичных заказов с целью определить характерное для них время выполнения и величину запаздывания из-за отсутствия на складе некоторых товаров.

Следующую группу составляют параметры, которые связывают уровень желательного запаса товаров со средним темпом продаж. Эти константы определяются числом недель, в течение которых средний темп продаж может быть обеспечен за счет «нормального» запаса товаров.

Пусть эти константы для розничной и оптовой торговли и производства будут равны соответственно:

$AIR = 8$ неделям,
$AID = 6$ неделям,
$AIF = 4$ неделям.

Если мы разделим эти константы на 52 недели, то получим темп оборачиваемости запаса товаров в течение года. Приведенные выше цифры соответствуют оборачиваемости запасов в трех подразделениях системы, соответственно 6,5; 8,7 и 13 раз в год.

Параметры в уравнениях 13-8, 13-26 и 13-44 дают показательную постоянную времени усреднения, которая используется при определении усредненного темпа продаж на основе текущих значений этого темпа. Мы допустим в начале нашего исследования, что для каждого из трех подразделений эта константа равна 8 неделям:

[1] Или можно было бы составить таблицу, позволяющую получить путем интерполяции значение запаздывания, соответствующего любому отношению фактического и желательного запаса.

DRR = 8 неделям,
DRD = 8 неделям,
DRF = 8 неделям.

В уравнениях 13-9, 13-27 и 13-45 параметры DIR, DID и DIF определяют темпы регулирования запасов и заполнения каналов системы. Как мы увидим позже, наша система чувствительна к величинам этих темпов. Для точного установления значений такого рода параметров у нас может не хватать необходимых данных; их величину можно оценить на основе данных о динамике заказов в прошлом. Значения этих параметров можно будет изменить в дальнейшем. Мы начнем с выбора таких значений, которые кажутся нам правдоподобными, а позже рассмотрим, какое влияние оказывает изменение этих значений. Первоначально примем, что в каждом из подразделений системы темп поступления заказов уменьшает отклонение фактических запасов и заполнения каналов от соответствующих желательных величин со скоростью, равной одной четверти этого несоответствия в неделю; тогда запаздывание регулирования запасов (и заполнения каналов) для розничной и оптовой торговли и производства составит соответственно:

DIR = 4 неделям,
DID = 4 неделям,
DIF = 4 неделям [1].

Далее мы должны установить запаздывания оформления заказов на закупки товаров. Допустим, что на это нужно больше времени в розничной торговле, чем в оптовой, где этот период в свою очередь больше, чем в производстве. Пусть

DCR = 3 неделям — запаздывание оформления заказа в розничном звене;
DCD = 2 неделям — запаздывание оформления заказа в оптовой торговле;
DCF = 1 неделе — запаздывание оформления заказа в производстве.

Для почтового запаздывания пересылки заказа из розничного звена и из оптовой торговли примем следующие величины:
DMR = 0,5 недели,
DMD = 0,5 недели.

Для запаздывания транспортировки товаров с оптовых баз в розничное звено и с завода на оптовые базы примем следующие значения:

DTR = 1,0 недели,
DTD = 2,0 недели.

Промежуток времени между моментом принятия решения об изменении темпа производства и тем моментом времени, когда может быть достигнут новый темп выпуска готовой продукции, примем равным 6 неделям:

DPF = 6,0 недели.

Для решения уравнения 13-46 необходимо знать значение максимальной производственной мощности. В нашем первоначальном исследовании системы не должно быть существенных ограничений производственного характера. Производственная мощность может быть поэтому принята во много раз большей по сравнению с уровнем розничных продаж:

ALF = (1000)(RRI) единиц в неделю.

В приведенном выражении ALF есть предел производственной мощности предприятия, а RRI — исходный темп требований к розничному звену.

Исходные величины темпа производства и продаж могут быть выбраны произвольно в каком-либо удобном масштабе, например,

RRI = 1000 единиц в неделю, исходный темп требований к рознице.

Мы имеем теперь полную систему уравнений динамики, уравнений исходных значений и знаем параметры; исключение составляет только темп требований к рознице RRR, который будет использоваться в качестве ввода с целью испытания системы.

При разных исследованиях поведения системы будет устанавливаться различный темп розничных продаж. Значение этого темпа будет задаваться каждый раз при формулировании условий, в которые должна быть поставлена система.

13. 6. Общие принципы выбора рациональных значений параметров

Читатель может вначале возразить против произвольного обращения, проявленного только что в отношении выбора значений параметров, поскольку оно несовместимо со многими попытками использовать для этой цели статистические оценки, предпринимаемыми в науке об управлении и описанными в экономической литературе. Однако нам представляется, что широко поставленный сбор данных должен

[1] Эти значения, вероятно, меньше тех, с которыми мы обычно будем встречаться на практике.

следовать за *доказательством* необходимости большей точности определения того или иного параметра. Во многих задачах любые значения параметров, не выходящие за пределы разумного, приведут к почти одинаковым результатам.

Не приходится сомневаться в том, что большинство промышленно-сбытовых и экономических систем не обладают высокой чувствительностью к незначительным изменениям параметров; иначе качественный характер их динамического поведения был бы значительно более изменчив, чем это есть на самом деле. В первом приближении колебания экономики из десятилетия в десятилетие имеют неизменный характер, хотя многие детали системы претерпевают при этом значительные изменения. За последние двести лет мы изменили форму управления государством и банковскую систему; расходы правительства выросли до значительной доли нашего национального продукта; страна из преимущественно аграрной превратилась в преимущественно индустриальную; скорости связи и транспортировки увеличились примерно в 100 раз. И все же, несмотря на эти изменения, капиталистической экономической системе присущи те же самые колебания и тенденции роста и денежной инфляции, что и раньше. Мы увидим, что сложность структуры системы, наличие распределенных по всей системе запаздываний, решения, имеющие следствием усиления в системе, и временны́е константы, источником которых служит память и действия людей,— все это, вместе взятое, создает систему, поведение которой не зависит от изменения большинства параметров, если эти изменения лежат в разумных пределах.

В информационной системе с обратной связью различные влияния взаимно уравновешиваются. Отклонения, связанные с изменением одного из факторов, часто компенсируются автоматически возникающими изменениями других факторов. Чем более полной и жизнеспособной является система, тем менее чувствительной будет она к незначительным изменениям *большинства* параметров.

Определить чувствительность модели к изменениям значений параметров можно путем испытания модели. Когда выявлен параметр, к изменениям которого система особенно чувствительна, мы сталкиваемся с более сложной проблемой, чем просто необходимость определить его значение. Возможно, мы будем в состоянии точно измерить параметр; однако нам нужна уверенность в неизменности его значения с течением времени. В противном случае он может оказаться одной из существенных переменных системы; если в этом случае источник изменений параметра не будет установлен, то поведение модели может ввести нас в заблуждение. Возможно, этот параметр относится к числу тех, которые можно регулировать. Если же параметр не может быть точно измерен или если он не является константой, а также если он не поддается регулированию, тогда, вероятно, будет целесообразно видоизменить структуру промышленно-сбытовой системы таким образом, чтобы величина и изменение параметра не влияли в большой степени на поведение системы.

13. 7. Экспериментальные проигрывания модели

В главе 2 были приведены рисунки, показывающие, каким образом типичная оптовая организация могла бы реагировать на некоторые упрощенные вводы, характеризующие объем розничных продаж. В предшествующих разделах настоящей главы даны были уравнения, описывающие организацию и руководящие правила системы, рассмотренной в главе 2. В последующих разделах будет дано более детальное описание каждого из рисунков главы 2, включая уравнения, используемые для формулирования условий, связанных с экспериментальным вводом.

Первоначально можно допустить, что самым насыщенным информацией типом ввода, используемого при испытании системы, был бы временной ряд фактических продаж, полученный в результате изучения реальных ситуаций, хотя в общем случае это будет не самая полезная исходная точка, так как временны́е ряды, построенные на фактическом материале,— слишком сложная модель для начальной стадии изучения поведения системы.

Более простые условия испытаний можно будет выработать, если попытаться понять наиболее существенные характеристики самой системы. Позже мы сможем изучить реакции системы на ввод характерных для нее данных или сгруппировать отобранные соответствующим образом элементарные вводы (такие, как тенденции роста, сезонные и другие периодические колебания и помехи) для того, чтобы создать испытательный ввод такого состава, который воссоздает статистические характеристики фактических временных рядов.

Теперь повторим и рассмотрим в отдельности рис. с 2-2 по 2-6 из главы 2. Уравнения и пара-

метры, кроме особо отмеченных, будут заимствованы из раздела 13.5.

13.7.1. Скачкообразное увеличение продаж. В качестве экспериментального ввода при изучении динамики системы целесообразно использовать «функцию скачка»; такой ввод весьма прост и в то же время богат информацией. В этом случае имеет место внезапное возмущение, порожденное изменением внешнего ввода в систему до некоторой новой величины, которая затем поддерживается постоянной. Функция скачка вызывает возмущение, включающее в себя, вообще говоря, неограниченную полосу частот компонентов. Она может служить для того, чтобы «возбудить» любого вида реакцию, какая может быть свойственна испытываемой модели. Если для моделируемой системы характерны колебания, то скачкообразный ввод сразу же продемонстрирует естественный период колебаний системы и скорость их затухания или усиления. Такой ввод будет, как правило, приводить в действие совокупность характерных для системы тенденций к росту или сокращению.

Для отображения скачкообразного изменения розничных продаж *RRR*, например, на 10% необходимы следующие уравнения:

$$RRR.KL = RRI + RCR.K, \qquad \text{13-74, } R$$

$$\text{RCR.K} \begin{cases} 0, & \text{если время меньше 0 (то} \\ & \text{есть до начала отсчета времени),} \\ 100, & \text{если время больше 0} \end{cases}, \qquad \text{13-75,A}$$

где

RRR — требования (заказы), получаемые розничным звеном (единицы в неделю);

RRI — исходный темп требований к розничному звену, константа (единицы в неделю);

RCR — изменение требований к розничному звену (единицы в неделю).

Согласно этим двум уравнениям, темп розничных продаж до начала проигрывания имеет постоянную установившуюся величину *RRI* (равную 1000 единиц в неделю). После начала проигрывания величина *RRR* увеличивается на 100 единиц в неделю, что и дает скачкообразное увеличение розничных продаж на 10%.

На рис. 13-18 видно, как возмущение, вызванное изменением розничных продаж, распространяется в направлении производственного звена; соответствующие данные приведены в табл. 13-1.

Таблица 13-1. Время, необходимое для достижения максимальных темпов размещения заказов и производства товаров после 10-процентного увеличения продаж

Переменная	Экстремальная величина изменения, %	Время (недели)
Розничные продажи	+10	константа
Заказы розничного звена оптовым базам	+18	11
Заказы оптовых баз производству	+34	14
Производственные заказы заводу	+51	15
Выпуск готовой продукции заводом	+45	21

Прогрессивное увеличение экстремальных значений темпа размещения заказов при переходе к высшим подразделениям системы является результатом двух источников усиления, имеющих место в правилах, регулирующих решения о размещении заказов,— это необходимость увеличения количества заказов и товаров, перемещаемых по каналам системы, и практика увеличения «желательного» запаса в связи с ростом среднего уровня продаж. В системе, рассматриваемой в данном примере, запаздывание передачи из розничной торговли в оптовую и обратно равно 6,1 недели (3 недели на оформление заказа *DCR*; 0,5 недели на пересылку заказа по почте *DMR*; 1,6 недели на выполнение заказа оптовыми базами (*DHD* плюс *DUD*) и 1 неделя на транспортировку товаров в розничное звено *DTR*). 10-процентный рост темпа розничных продаж требует 10-процентного увеличения числа заказов и товаров в пути, если запаздывание является постоянным (и большего увеличения заказов и товаров, если запаздывание возрастает, как это делается в модели и как это обычно бывает в деловой практике на ранней стадии расширения объема деловых операций). Это увеличение содержимого каналов (уравнение 13-10) должно быть тогда равно:

(запаздывание) (изменение темпа продаж) = = (6,1 недели) (100 единиц в неделю) = 610 единиц.

Кроме того, если следовать почти всеобщей практике увеличения желательного запаса пропорционально уровню продаж, то будет иметь место в соответствии с уравнением 13-7 единовременное увеличение количества заказов, равное:

расширение заказов с целью увеличения запаса = (*AIR*)(изменение темпа продаж) =

= (8 недель)(100 единиц в неделю) = 800 единицам. AIR — постоянный коэффициент пропорциональности между запасом в рознице и средним темпом розничных продаж.

Эта сумма в 1410 единиц заказов частично уравновешивается увеличением нормального уровня не выполненных розничным звеном заказов (уравнение 13-12), которое будет равно:

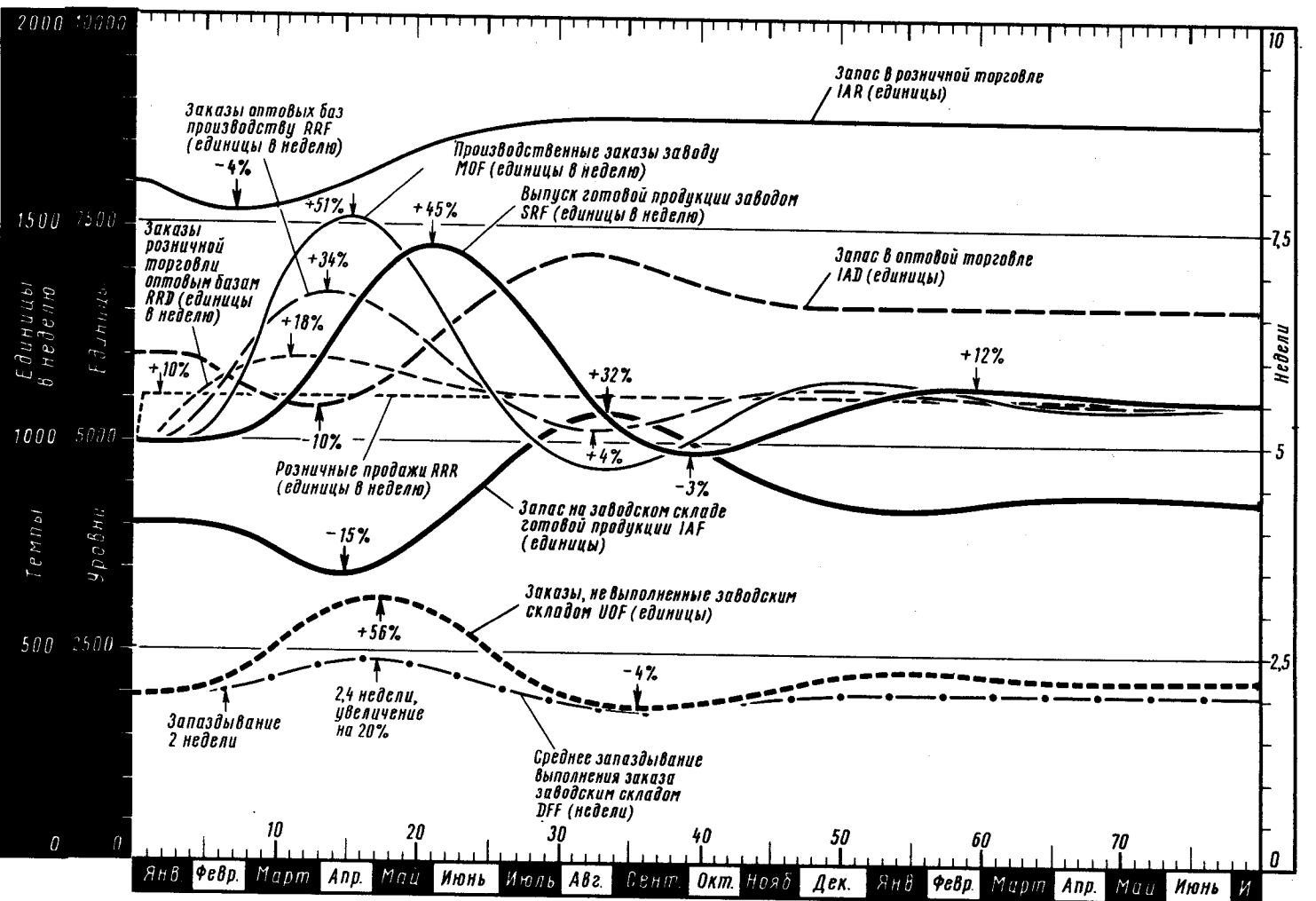
увеличение нормального количества не выполненных розницей заказов = (запаздывание выполнения заказа розницей) (изменение темпа продаж) = $(DUR+DHR)$ (изменение темпа продаж) = (0,4+1,0) (100)=140 единицам.

Эти 140 единиц заказов находятся в резерве не выполненных розничным звеном заказов. На такую величину сумма поставок отстает от суммы поступающих заказов, так что это количество не расходуется из запаса.

Общее число дополнительных заказов на 1270 единиц товара (1410 минус 140) должно быть размещено розничным звеном в течение интервала времени между скачком в увеличении розничных продаж и тем моментом, когда розничная торговля придет в установившееся состояние при новом увеличенном объеме продаж. На рис. 13-18 это происходит в течение 30 недель после изменения розничного сбыта.

На протяжении 3-х месяцев заказы, получаемые оптовыми базами из розничного звена, будут на 15 и более процентов выше исходного уровня продаж (в сравнении с 10% роста в розничном звене). Это временное увеличение числа заказов, превышающее фактическое увеличение розничных продаж, продолжает существовать достаточно долго для того, чтобы явиться основой для выработки соответствующих решений при регулировании запаса на оптовых

Р и с. 13-18. Реакция промышленно-сбытовой системы на внезапное 10-процентное увеличение розничных продаж.



базах и содержимого каналов. Эти решения вызовут дальнейшее увеличение темпа размещения заказов.

В данном примере в розничной торговле все время осуществляются продажи в новом, повышенном темпе. Оптовые базы, однако, достигнув наивысшего уровня деловой активности, поводом для которого отчасти явилось временное увеличение заказов розничной торговли, сталкиваются с падением темпа оптовых продаж между 11-й и 25-й неделями. И уровень их запасов и заполнение каналов становятся тогда избыточными, и потому производится их уменьшение, которое достигается путем сокращения исходящих заказов производству до величины, меньшей темпа оптовых продаж. При этом сбыт в производственном подразделении системы падает примерно на 6% по сравнению с розничными продажами. Еще большие колебания происходят в выпуске продукции заводом в связи с попытками скорректировать заделы незавершенного производства и запас готовой продукции.

К тому времени, когда система достигает нового состояния равновесия, запасы, товары в пути и все уровни заказов будут на 10% выше прежних. Для этого требуется, чтобы 1270 дополнительных заказов (сверх заказов покупателей розничной торговле) были выданы розничным звеном, другая партия в 1190 заказов — оптовыми базами и 900 — плановым отделом завода. В результате внутри системы будет выдано на 3360 заказов больше, чем было получено розничным звеном. Эти возникшие внутри системы заказы равноценны результатам 3-х недель фактической деятельности. Часть избыточных заказов идет на повышение уровней различных групп заказов, проходящих через систему. Результатом их является также и реальное увеличение на 2000 единиц объема готовой продукции в системе (примерно двухнедельный выпуск), из которых 90% составляет увеличенный запас, а 10% идет на увеличение количества товаров в пути. Для осуществления таких изменений необходимо, чтобы в период, когда в системе устанавливается новый уровень деловой активности, темпы производства были бы в среднем выше темпа розничных продаж. При тех руководящих правилах, которые приняты в данной конкретной системе, выпуск дополнительной продукции осуществляется за счет неравномерного роста производства, которое характеризуется максимумом выпуска продукции примерно на 20-й неделе; этот максимум затем уравновешивается отрицательным отклонением от среднего выпуска примерно на 35-й неделе. Правила регулирования запасов и размещения заказов оказывают самое большое воздействие на стабильность системы.

Колебания уровня запасов, как и темпы размещения заказов и производства продукции, прогрессивно увеличиваются по мере того, как возмущение распространяется в системе. Соответствующие данные приведены в табл. 13-2.

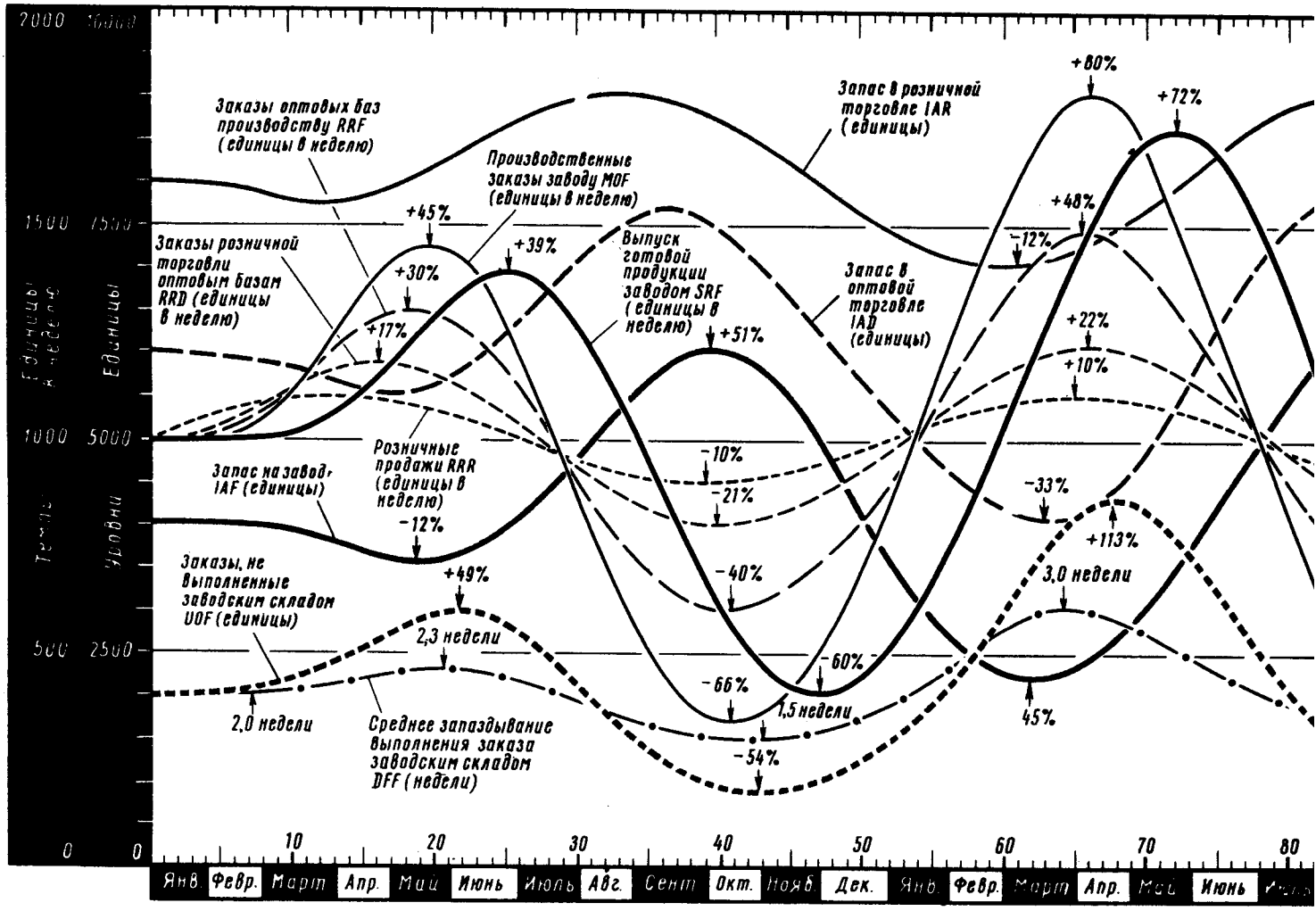
Таблица 13-2. **Минимальные уровни запасов после 10-процентного увеличения продаж**

Подразделение системы	Уменьшение запасов по сравнению с исходной величиной, %	Время после увеличения розничных продаж (недели)
Розничная торговля	4	7
Оптовая торговля	10	13
Производство	15	15

Из приведенных данных видно, что система испытывает колебания: наблюдаются спады в производстве продукции до значений, меньших темпа розничных продаж, с последующим возникновением несколько преувеличенных по сравнению с продажами темпов размещения заказов на производство продукции и выпуска готовых товаров. Для затухания колебаний в системе необходимо полтора года. Наивысшие значения выпуска продукции заводом, на 45 и 12% превышающие его исходную величину, имеют место на 21-й и 59-й неделях. Разделяющий их интервал в 38 недель дает приближенную величину «естественного периода» колебаний производственно-сбытовой системы. Это означает, что система может быть особенно чувствительна ко всяким возмущениям, содержащим в себе периодический компонент с периодом около 38 недель. Этот интервал весьма близок к году, и поэтому можно ожидать, что ежегодные сезонные изменения в розничной торговле будут заметно усиливаться в производственном подразделении системы.

Система проявляет стремление к устойчивым колебаниям настолько определенно, что ее реакция на случайные внешние «помехи» должна обладать большой степенью избирательности. Поскольку случайные помехи содержат в себе компоненты с широкой полосой частот, система может избирать и усиливать те частоты, к которым она чувствительна.

Эти выводы, сделанные в результате анализа реакции на скачкообразное изменение ввода, могут быть проверены непосредственно с помощью ввода периодических или случайных помех.



Р и с. 13-19. Реакция производственно-сбытовой системы на 10-процентное непредвиденное увеличение и падение

13.7.2. Годичный периодический ввод. Реакция системы на синусоидальные вводы различной частоты дает много сведений для выявления характеристик системы. Рассмотрим реакцию только на синусоидальное возмущение с периодом в один год. Оно может представлять собой непредвиденное годовое сезонное изменение в темпе сбыта.

Уравнения и параметры из раздела 13.5 дополним следующими уравнениями ввода:

$$RRR.KL = RRI + RCR.K, \qquad 13\text{-}76,\ R$$

$$RCR.K = 100 \sin 2\pi \frac{TIME.K}{52}, \qquad 13\text{-}77,\ A$$

где

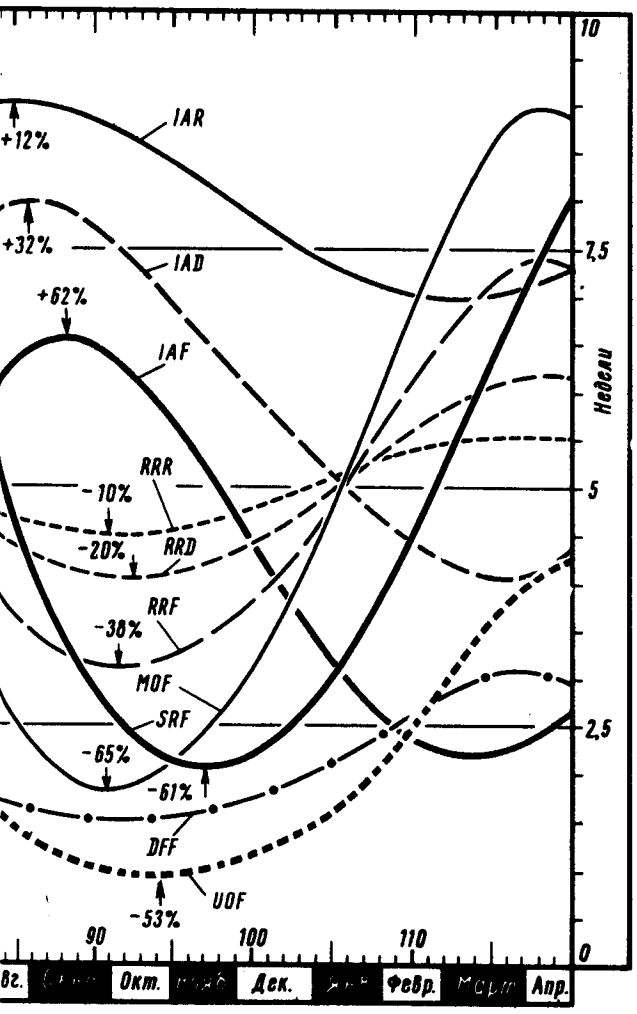
RRR — требования (заказы), получаемые розничным звеном (единицы в неделю);

RRI — исходный темп требований к розничному звену, константа (единицы в неделю);

RCR — изменение требований к розничному звену (единицы в неделю);

TIME — календарное время, выраженное в неделях;

sin — функциональное обозначение синусоидальных колебаний (в данном случае с периодом в 52 недели).



розничных продаж с периодом в один год.

Здесь рассматривается система, которая до начала проигрывания модели находилась в постоянных, установившихся условиях. В начале проигрывания ко вводу добавляется синусоидальное возмущение с периодом в один год и максимальным отклонением от среднего значения вверх и вниз в 100 единиц.

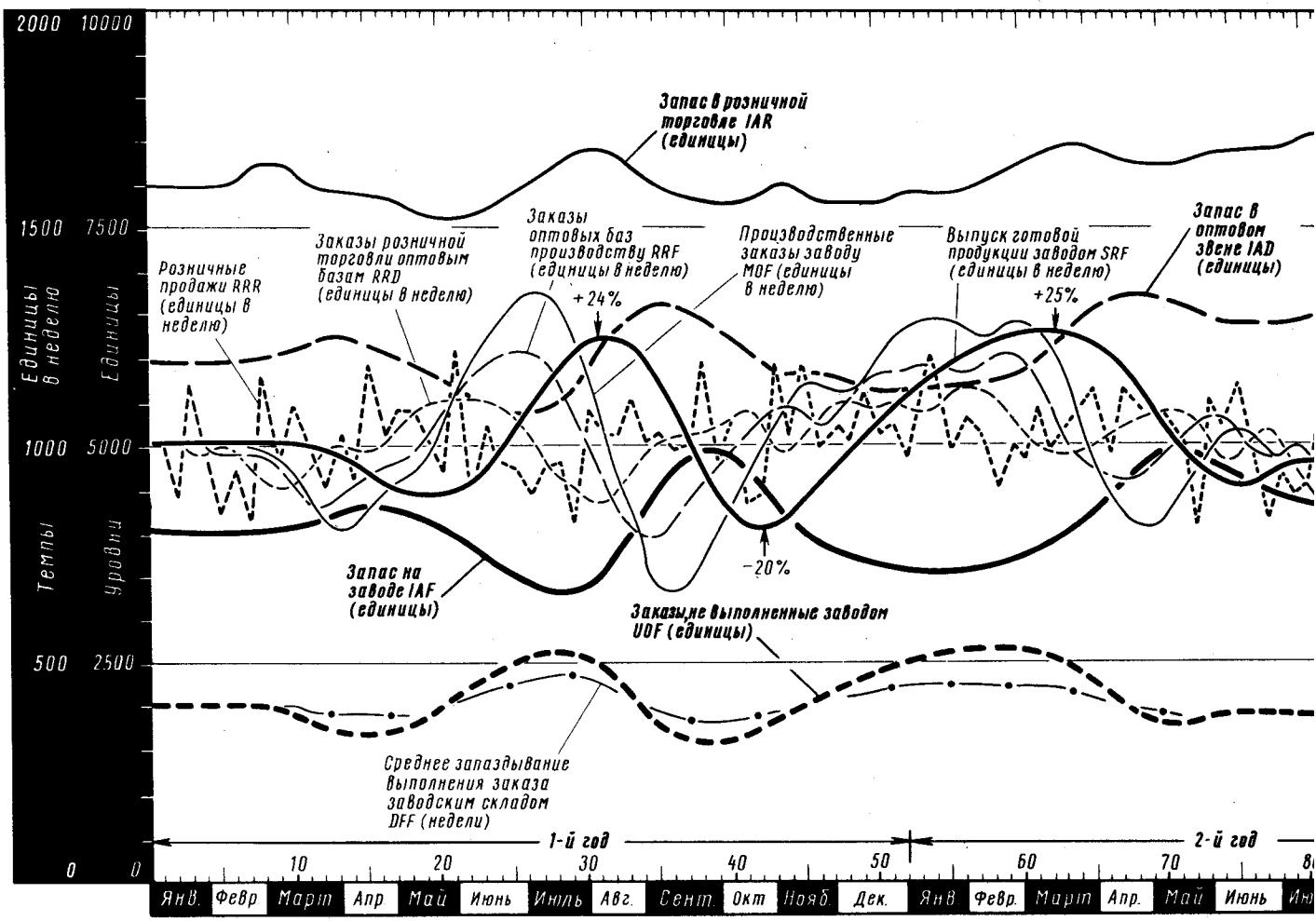
Не следует рассчитывать на то, что с помощью планов и правил, характеризующих сезонные изменения в деловой активности, можно будет подавить возмущения, которые показаны на рис. 13-19. Поскольку нет сведений о сезонных колебаниях в прошлом, планирование сезонных возмущений на будущее малоправдоподобно. Для бизнеса, связанного с сезонными колебаниями, нет точных данных о степени этой сезонности в будущем. Если бы такие данные были, то тогда этот график мог бы быть истолкован как изображение реакции системы на расхождение между предсказанным и фактическим характером сезонного сбыта.

Реакция системы, изображенная на рис. 13-19, содержит в себе два компонента — установившиеся периодические колебания и затухающие, возникшие в тот начальный момент, когда система начинает переходить от прежних, постоянных, устойчивых условий к своему новому состоянию с периодическими характеристиками. Первые максимумы кривых, описывающих заказы, имеют место между 16-й и 30-й неделями. Они отличны от максимумов между 60-й и 75-й неделями, которые повторяются ежегодно и не отражают уже исходной нестабильности.

На рис. 13-18 видно, что для затухания случайных, неустановившихся возмущений потребовался примерно год. Точно так же примерно год проходит, прежде чем периодическая реакция системы очищается от исходных неустановившихся условий. Условия в период прохождения минимума цикла около 40-й недели очень похожи на соответствующие условия около 90-й недели. Можно поэтому предположить, что начиная с 40-й недели кривые очень близко отображают характер повторяющихся, периодических колебаний.

Розничные продажи не зависят от системы, и данные об их динамике являются важнейшим вводом в нее. Первоначальные подъемы на кривых заказов происходят в определенной последовательности во времени, достигая экстремальных значений на 13-й неделе для розничных продаж, на 16-й—для оптовых продаж, на 19-й—для продаж готовой продукции и на 20-й неделе — для производственных заказов заводу. Эта последовательность максимумов тождественна той, которая показана на рис. 13-18 для скачкообразного изменения ввода.

Можно, однако, заметить, что в течение второго года подъемы и спады возникают почти одновременно на всех кривых заказов. Это может вначале показаться удивительным, поскольку совершенно очевидно, что розничные продажи являются независимым вводом в системе и служат основанием для возникновения заказов в системе через определенные промежутки времени, разделенные запаздываниями. Однако специальное изучение этого вопроса показало, что система, содержащая в себе факторы, уси-



Р и с. 13-20. Влияние случайных отклонений розничных продаж.

ливающие колебания, может реагировать на некоторые частоты возмущений таким образом, что реакции, являющиеся вторичными, возникают фактически раньше независимого возмущения, воздействующего на систему.

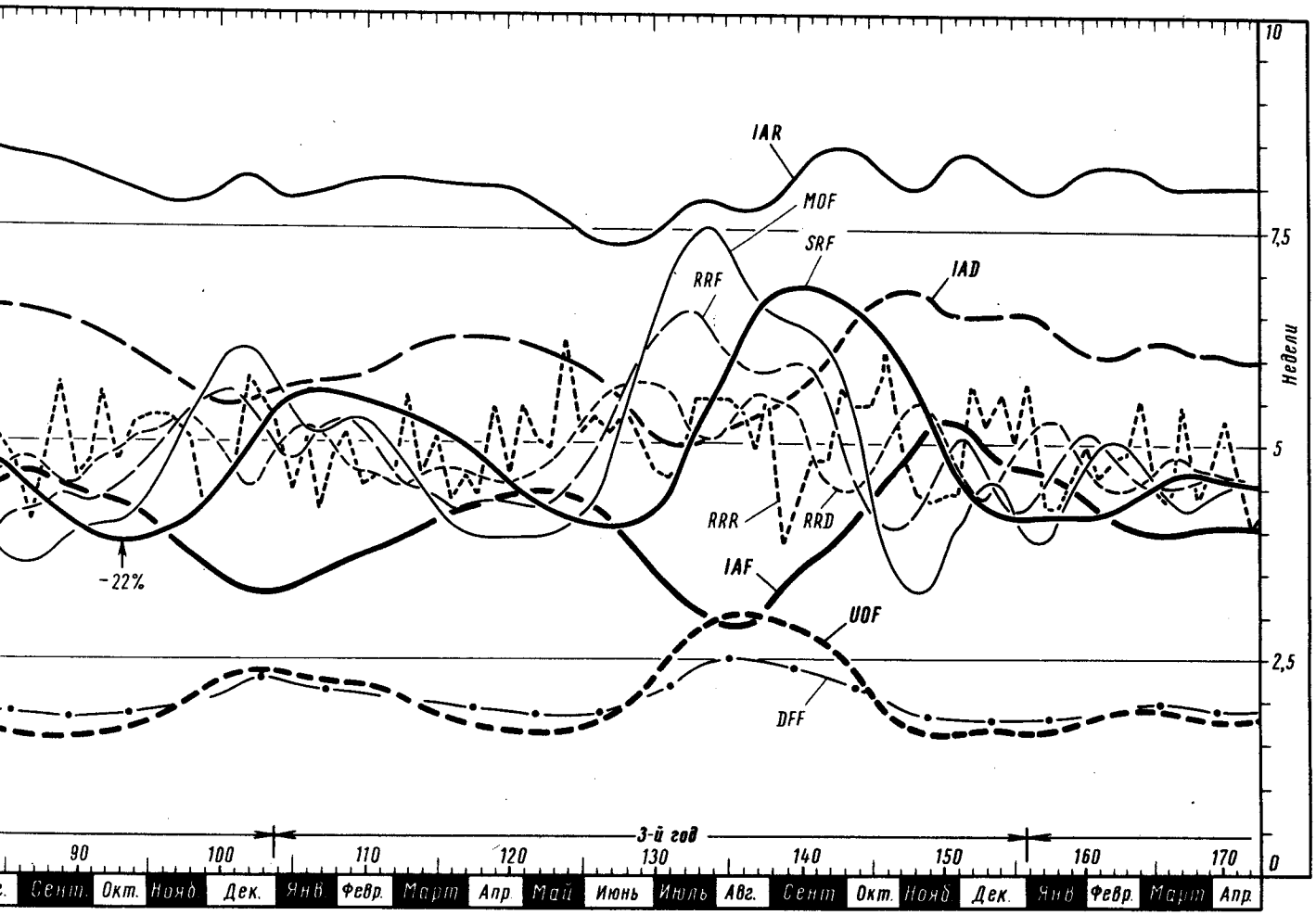
В течение второго года максимальные и минимальные значения кривых заказов отличаются от среднего темпа продаж на величину, приведенную в табл. 13-3.

Таблица 13-3. Максимальные и минимальные темпы размещения заказов при 10-процентных сезонных колебаниях в розничных продажах

Подразделение системы	Максимум, %	Минимум, %
Розничная торговля	+10	—10
Оптовая торговля	+22	—20
Склад готовой продукции завода	+48	—38
Завод	+80	—65

Из этой таблицы видно, что при переходе к каждому последующему подразделению системы максимальное и минимальное отклонения от среднего темпа размещения заказов почти удваиваются. Несимметричность верхней (восходящей) и нижней (нисходящей) ветвей кривых порождается нелинейностью системы (которая относительно невелика).

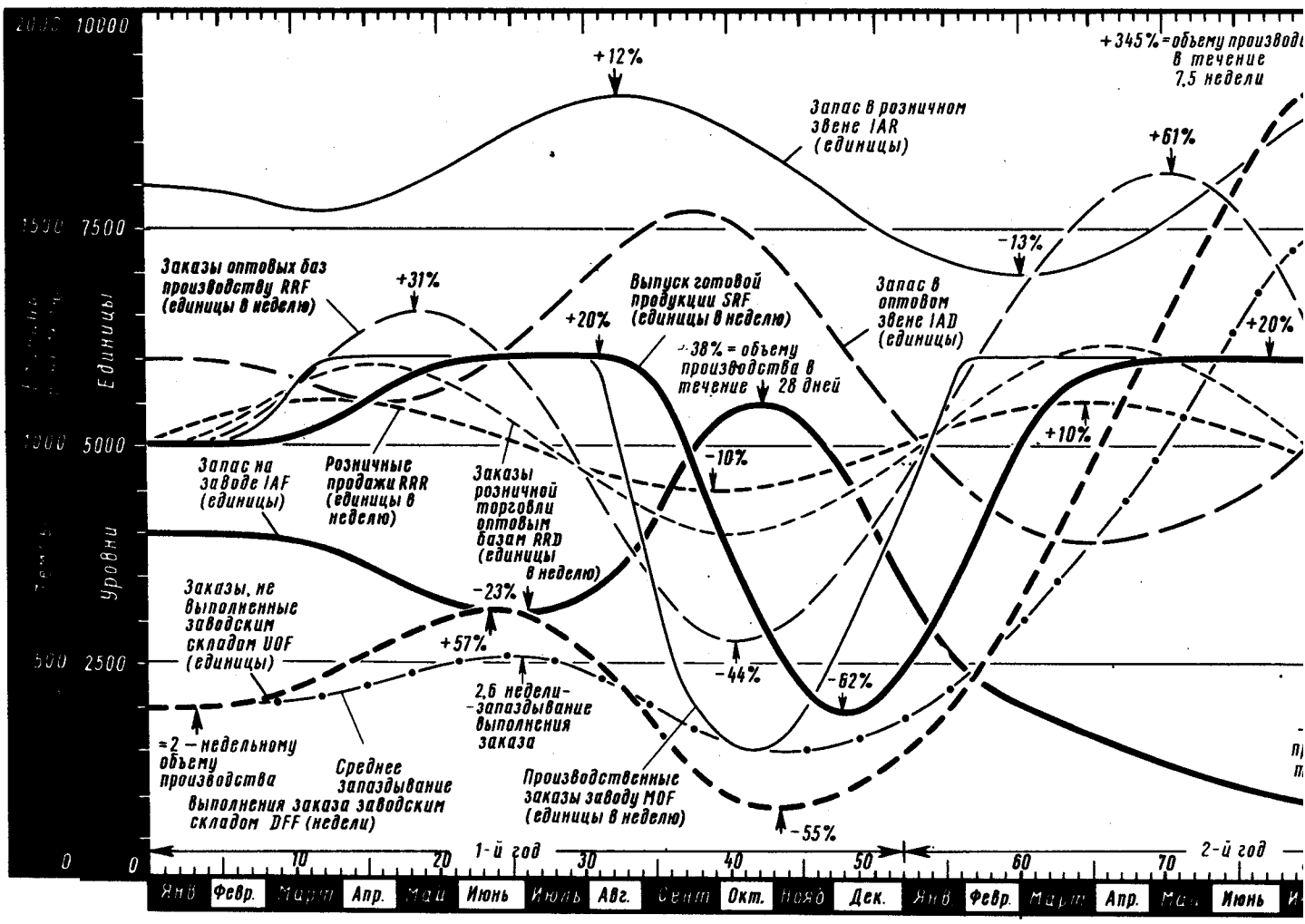
Следует обратить внимание на то, что колебания фактических запасов значительны, они изменяются в пределах от 45% ниже до 62% выше нормы; при этом запасы велики в тот период, когда заказов мало. Это существенно с точки зрения оказания влияния на среднюю воз-



можность выполнения заказов производством и вызывает колебания среднего запаздывания выполнения заказов от 1,5 до 3 недель. Это изменение «длины» канала, который связывает оптовые базы с производством, служит еще одним источником усиления отклонений, который не был четко выделен на предшествующем рисунке. Это изменение запаздывания влияет на изменение объема заказов в производстве еще больше, чем это можно было бы объяснить увеличением на 22% заказов от оптовых баз. Объем невыполненных заказов в производственном звене возрастает до 113% выше и падает затем до 53% ниже нормального.

13.7.3. Случайные колебания розничных продаж. Из описанных выше реакций на скачкообразное и сезонное изменения вводов следует, что данной системе присуща тенденция к колебаниям. Как показывает реакция на ввод, представляющий собой ежегодные синусоидальные колебания продаж, системе свойственна тенденция усиливать возмущения определенных частот.

Приведенные выше «чистые» типы вводов, служащих для испытания системы, не относятся к тем их видам, с которыми приходится сталкиваться в реальных ситуациях. В действительности все решения в системе будут искажены возмущениями, вызванными погодой, отпусками, длиной рабочей недели, связанной с праздничными днями, и т. д. Было бы нереалистичным игнорировать эти возмущения при изучении поведения системы. Но обычно мы не имеем необходимых данных для воссоздания



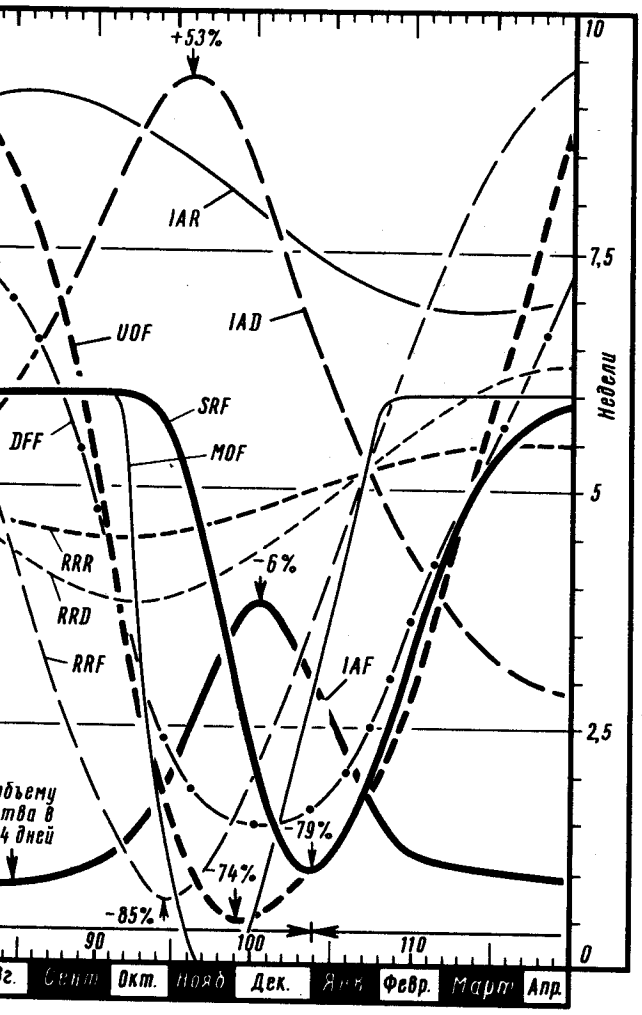
Р и с. 13-21. Влияние колебаний розничных продаж на производство при максимальной производственной

этих отдельных небольших возмущающих эффектов. Множество возмущающих факторов может быть приближенно заменено введением помех (то есть случайных колебаний). Тогда окажется возможным рассмотреть, каким образом будет реагировать на них система, и проследить, как влияет изменение источников таких возмущений. Сейчас нам будет достаточно выяснить, как приведенная в этом примере система будет функционировать, если розничные продажи остаются постоянными на протяжении каждой отдельной недели, а для отражения в модели случайных колебаний вокруг среднего уровня продаж данные, относящиеся к следующим одна за другой неделям, будут отличаться друг от друга. Это может быть выполнено с помощью следующих уравнений:

RRR.KL=RRI+RCR.K, 13-78, *R*
RCR.K=SAMPLE (*NSN.K*, 1), 13-79, *A*
NSN.K=NORMRN (0, 100), 13-80, *A*

где

RRR — требования (заказы), получаемые розничным звеном (единицы в неделю);
RRI — исходный темп требований к розничному звену, константа (единицы в неделю);
RCR — изменение требований к розничному звену (единицы в неделю);
SAMPLE — функциональное обозначение, указывающее, что значение переменной



мощности, на 20% превышающей средние продажи.

NSN должно быть принято постоянным для данного интервала (1 неделя) и что значения ее должны заново определяться и использоваться для каждого следующего интервала времени;

NSN — источник нормального шума, последовательность случайных чисел, имеющих размерность «единицы в неделю». Для каждого интервала решений *DT* будет вырабатываться новое значение;

NORMRN — функциональное обозначение псевдослучайного (то есть вырабатываемого с помощью некоторой процедуры вычислений) источника нормальных случайных помех, оцениваемых в единицах в неделю. В скобках указано основное значение (0) и нормальное отклонение (100 единиц в неделю).

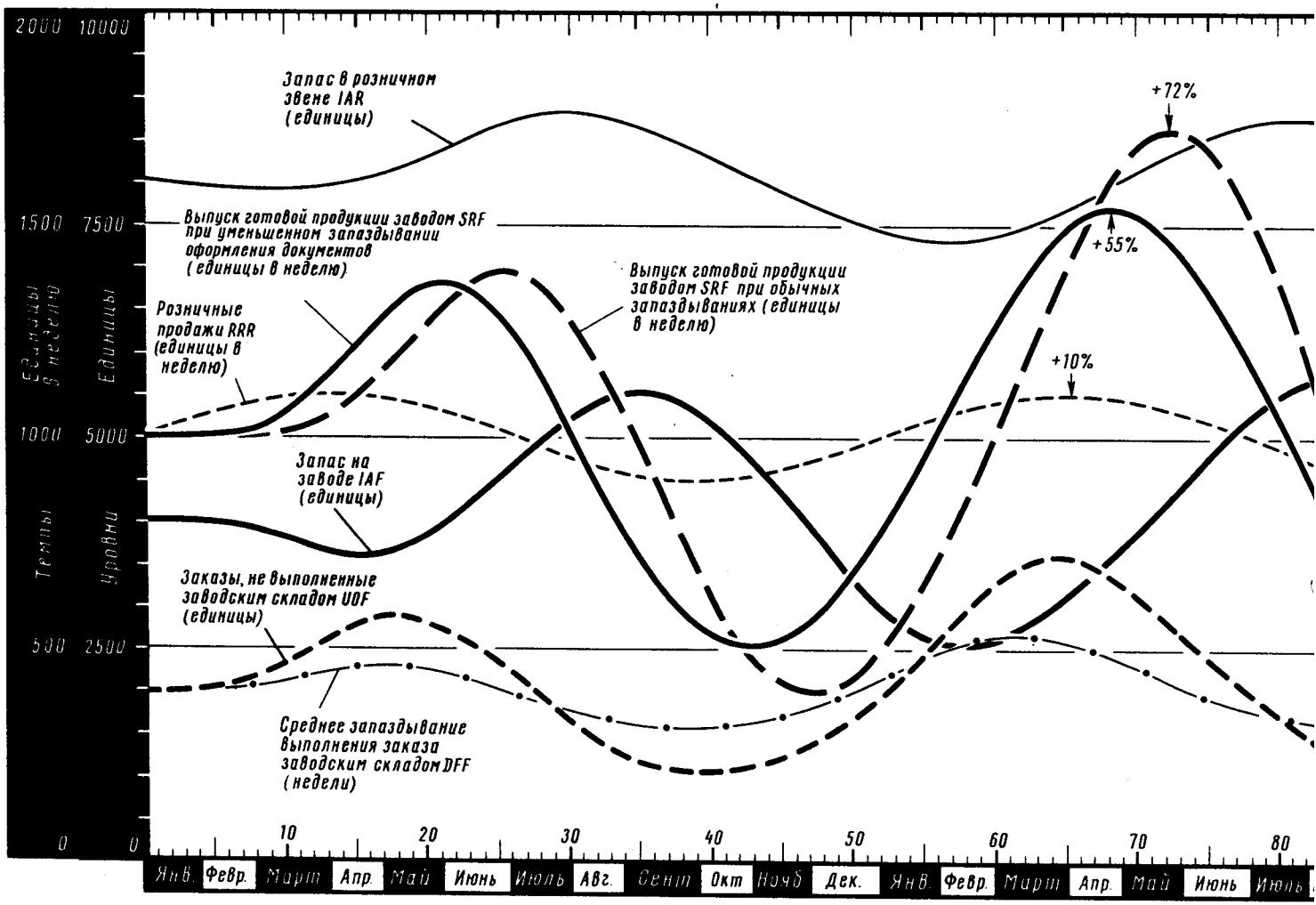
Все уравнения и параметры, кроме описанных выше, берутся из раздела 13.5.

Из приведенных на рис. 13-20 кривых можно видеть, каким образом производственно-сбытовая система видоизменяет такой независимый ввод, как розничные продажи, преобразовывая его при определенных обстоятельствах в производство продукции. Высокочастотные еженедельные колебания подавляются до тех пор, пока не перестают оказывать явного влияния на условия производства. Однако при этом усиливаются колебания с большим периодом в производственном подразделении системы. Они, несомненно, порождаются случайностями розничной торговли, хотя эта зависимость в явной форме не проявляется.

Можно показать, что последовательность случайных помех содержит в себе компоненты самых различных частот. Поэтому модель еженедельных случайных продаж в рознице будет обязательно включать в себя месячные, квартальные, годовые и любые другие периодически повторяющиеся отклонения. Если система, находящаяся в этих условиях, действует избирательно и имеет тенденцию усиливать колебания определенных частот, эти отдельные частоты будут видны как явно преобладающие. Это заметно на рис. 13-20, где преобладающие частоты создают максимумы, разделенные интервалами от 30 до 50 недель. Это величина того же порядка, что и естественная частота в 38 недель между максимумами на рис. 13-18.

Эта тенденция системы усиливать возмущения некоторых частот объясняется природой ее структуры, запаздываниями и правилами, которые определяют решения в системе. Позднее мы снова вернемся к этому вопросу, чтобы проследить за тем, как изменение руководящих правил может сделать систему менее чувствительной к случайным возмущениям.

Заказы, размещенные с целью регулирования запаса товаров и заполнения каналов, определяются для всех подразделений системы средней величиной продаж, которая вычисляется в данном случае с помощью показательной функции с 8-недельной временной константой.

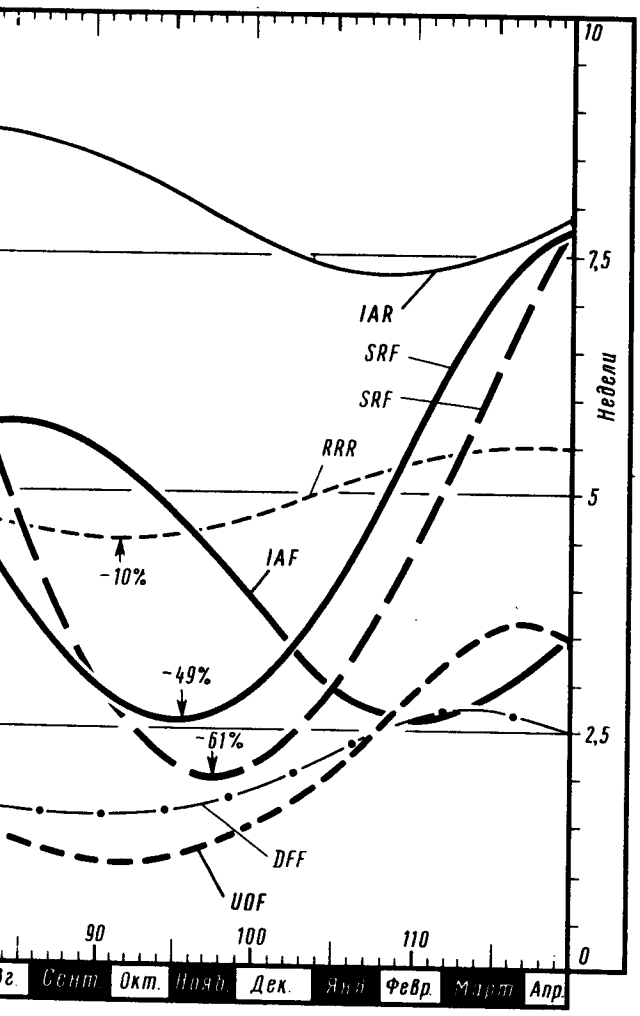


Р и с. 13-22. Эффект от уменьшения запаздывания, связанного с оформлением документов.

Усредненные розничные продажи на приведенном рисунке не показаны; анализ полученных на вычислительной машине данных показывает, что они, как правило, отличаются от исходной величины для установившихся условий не более чем на 2—3% и лишь изредка это отклонение превышает 5%. Как усреднения, так и запаздывания способствуют погашению еженедельных возмущений на вводе системы, имеющих большую частоту, но не затрагивают компоненты с низкой частотой, к которым система наиболее чувствительна.

13.7.4. Предельная производственная мощность. Уравнения для производственно-сбытовой системы, приведенные в разделе 13.5, включают в себя в нескольких местах произведения и отношения переменных; следовательно, они отображают нелинейную систему; однако степень нелинейности этой системы невелика.

Реальные промышленно-сбытовые системы содержат значительное число важных нелинейных характеристик. Одной из них является верхний предел возможного выпуска продукции, который определяется располагаемой производственной площадью и имеющимся оборудованием. Для того чтобы в первом упрощенном приближении отразить влияние ограничений, связанных с оборудованием, мы можем просто ограничить допустимую производственную мощность, установив верхний предел темпа выдачи



производственных заказов заводу [1]. В дальнейшем можно будет более реалистично отобразить систему, учтя переменную величину рабочей недели, число рабочих смен, снижение производительности труда при перегрузке оборудования и производства в целом, возможную нехватку материалов и другие факторы, оказывающие влияние на фактический выпуск продукции.

Анализ влияния константы *ALF*, входящей в уравнение 13-46, даст нам возможность проследить, как отразится на производстве ограничение его мощности величиной, превышающей, например, на 20% средние требования розничной торговли:

ALF = 1200 единиц в неделю — константа, определяющая предел производственной мощности.

Приведенные на рис. 13-21 кривые соответствуют 10-процентным ежегодным периодическим колебаниям темпа розничных продаж, определяемым уравнениями 13-76 и 13-77. При таком вводе розничные продажи изменяются в пределах между 900 и 1100 единицами в неделю. Максимальная производственная мощность предприятия равна 1200 единицам в неделю. Таким образом, предел производственных возможностей предприятия всегда превышает величину розничных продаж не менее чем на 100 единиц в неделю. И несмотря на это, усиления в системе приводят в действие ограничение, связанное с максимальной производственной мощностью.

Производство оказывается не в состоянии удовлетворить требования, связанные с регулированием запасов и содержимого каналов системы. Поэтому на производстве скапливаются невыполненные заказы. В результате возрастает запаздывание выполнения заказов, что в свою очередь приводит к еще большему увеличению потока заказов от оптовых баз по сравнению с его действительной потребностью [1]. В течение первых нескольких месяцев производства в условиях ограниченной производственной мощности влияние этих условий носит регенеративный характер (увеличение числа заказов ведет к росту числа невыполненных заказов, к увеличению запаздывания и к увеличению числа заказов впрок), приводя к росту задолженности по заказам и поддержанию максимального темпа производства на протяжении первого полугодия.

Кривые, отображающие деятельность системы на рис. 13-21, имеют совсем иной вид по сравнению с рис. 13-19. Новый элемент реальности, внесенный в систему, привел здесь к появлению некоторых новых эффектов, которые присутствовали уже и ранее, но не имели

[1] Следует заметить, что этот произвольно установленный верхний предел не является функцией действительных переменных, характеризующих возможные ресурсы оборудования, рабочей силы и материалов. У нас пока еще нет никаких решений, на основе которых можно было бы установить зависимость производственной мощности от этих факторов, так что модель будет непригодна для изучения развивающейся системы до тех пор, пока мы не включим в нее соответствующие управляющие решения.

[1] Дело в том, что в уравнениях заказов (например, в уравнении 13-9) есть член, отображающий содержимое каналов системы. В уравнение 13-10 входит выражение (*RSR.K*)(*DFD.K*), где *DFD.K* — запаздывание выполнения заказов оптовыми базами.

большого значения в уравнениях системы. Мы уже упоминали практику заказа впрок, порожденную запаздыванием в поставках (это уже третий фактор, вызывающий расширение системы, в дополнение к практике образования запасов и поддержания заполнения каналов на уровне, пропорциональном объему продаж). Уравнения 13-42 и 13-39 определяют возможность отгрузки товаров в зависимости от фактического запаса и невыполненных заказов. Увеличивающееся при снижении запасов запаздывание выполнения заказов служит объяснением того факта, что в данном примере запас товаров не падает до нуля, несмотря на большую задолженность в выполнении заказов. Происходит это вследствие возрастания минимального времени обработки товаров на складе из-за того, что поставки не могут быть скомплектованы и отправлены, если склад пуст.

Сравнение рис. 13-19 и 13-21 показывает, что ограничение производственной мощности предприятия вызвало увеличение размаха колебаний объема заказов производству по сравнению с прежним [1]. Запас товаров на оптовых базах резко возрастает, когда производство получает возможность выполнить заказы. В это время задолженность производства по невыполненным заказам превращается в товары, которые перемещаются в запасы оптовых баз. Это порождает дальнейшее сокращение заказов оптовых баз производству, поскольку они предпринимают попытки привести излишек имеющихся запасов в соответствие с небольшим (10%) падением продаж, которое наблюдается в это время.

13.7.5. Сокращение запаздывания оформления документов. Одной из главных задач изучения динамики производственно-сбытовой системы является оценка тех изменений, которые могут быть произведены в организации производства и сбыта. Изменение, предлагаемое довольно часто, состоит в механизации ручных конторских операций с целью ускорить обработку информации. Чтобы показать в упрощенном виде, как может быть оценен такой шаг, мы можем определить результаты сокращения запаздывания размещения заказов в рассматриваемой элементарной сбытовой системе.

[1] Отсюда не следует, что выходом из таких затруднений должно быть решение о расширении производственной мощности: скорее мы должны изменить руководящие правила в какой-либо другой части системы с тем, чтобы уменьшить нежелательные взаимодействия, вызванные производственными ограничениями.

Для того чтобы воссоздать ежегодные 10-процентные периодические колебания розничных продаж, мы используем тот же самый экспериментальный ввод, который был описан уравнениями 13-76 и 13-77. В табл. 13-4 запаздывания оформления заказов в розничной и оптовой торговле и производстве изменены по сравнению с соответствующими значениями, приведенными выше, в подразделе 13.5.5.

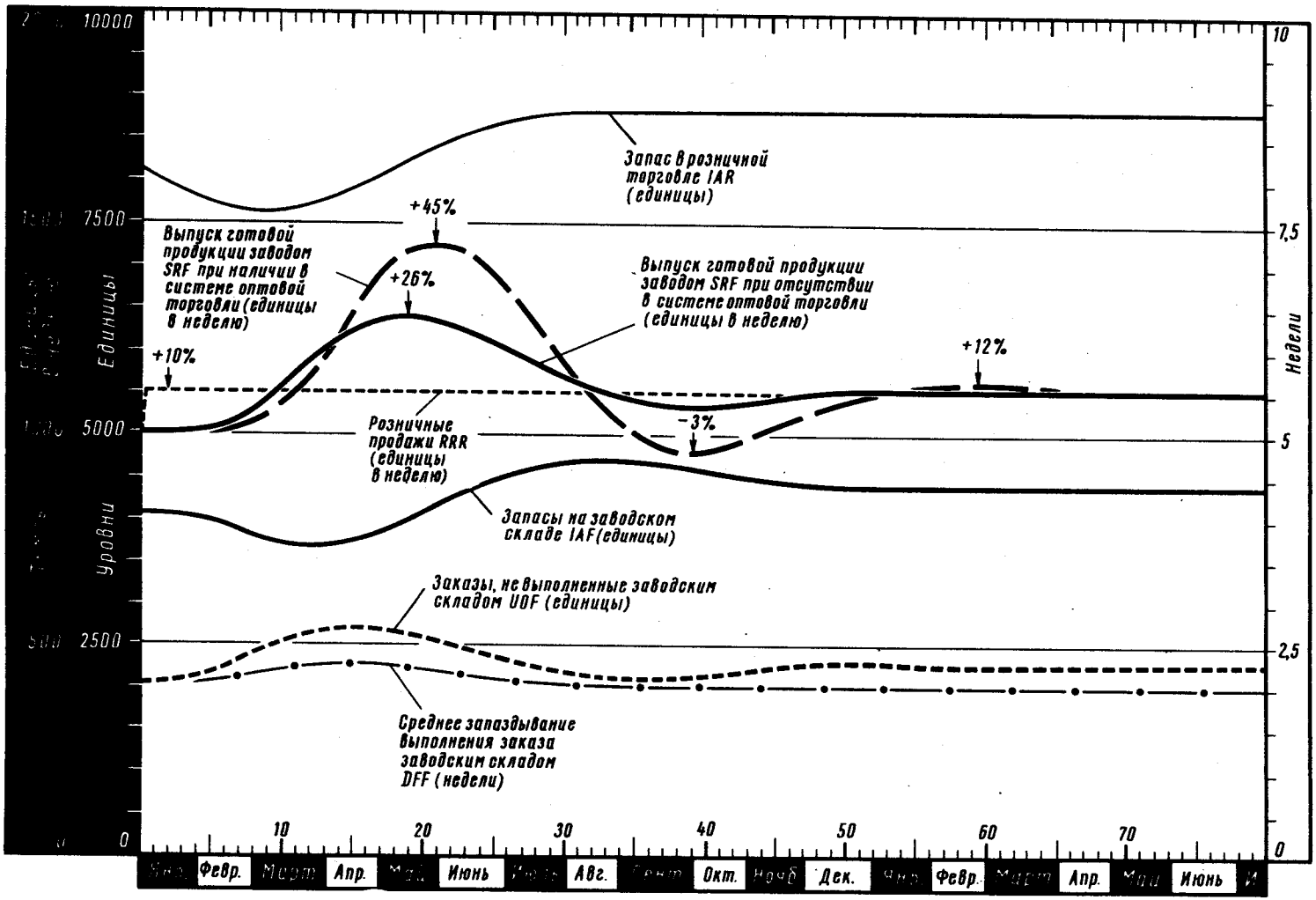
Таблица 13-4. Запаздывание оформления заказов

Запаздывания	Сокращенная величина (недели)	Прежняя величина (недели)
DCR	1,0	3,0
DCD	0,66	2,0
DCF	0,33	1,0

Рис. 13-22 показывает, что в результате такого уменьшения запаздываний происходит лишь небольшое сокращение разрыва между объемом розничных продаж и выпуском готовой продукции. Если раньше колебания в выпуске готовой продукции были в шесть раз больше колебаний в розничных продажах, то теперь эти колебания различаются в пять раз. На первый взгляд столь небольшой эффект может вызвать удивление; однако более внимательное рассмотрение системы как единого целого показывает, что запаздывания оформления заказа являются лишь одним из многих факторов, влияющих на деятельность системы. К тому же запаздывания оформления заказов ответственны лишь за небольшую часть общей величины усиления колебаний в системе, которая определяется, кроме того, накоплением запасов, изменением протяженности каналов системы, а также изменениями темпов потоков в этих каналах.

13.7.6. Исключение из системы оптовой торговли. Некоторые производственно-сбытовые системы имеют более трех подразделений, представленных в данной модели. В других случаях система может состоять из двух подразделений; тогда розничные заказы выдаются непосредственно производству. Исключение из системы одного из ее подразделений устраняет те усиления колебаний, которые порождаются накоплением запасов в этом подразделении. Оно устраняет также усиления, связанные с заполнением каналов, если поставки товаров в розничную торговлю могут быть так же просто осуществлены со склада завода, как и с оптовых баз.

Для исключения из системы оптовой торговли необходимо внести некоторые изменения



Р и с. 13-23. Исключение из системы звена оптовой торговли.

в уравнения раздела 13.5. Заполнение канала между розничной торговлей и заводом, который заменяет теперь канал между розничным звеном и оптовыми базами, описывается следующим уравнением, аналогичным уравнению 13-10:

$$LDR.K=(RSR.K)(DCR+DMR+DFF.K+DTR), \qquad 13\text{-}81, A$$

где

LDR — заказы в канале обеспечения, требуемые (необходимые) для снабжения розничного сбытового звена (единицы);

RSR — усредненные требования в розничном сбытовом звене (средний сбыт) (единицы в неделю);

DCR — запаздывание оформления заказа в розничном сбытовом звене (недели);

DMR — запаздывание пересылки заказа по почте из розничного сбытового звена (недели);

DFF — запаздывание (переменное) выполнения заказа предприятием (недели);

DTR — запаздывание транспортировки товаров к розничным торговым точкам (недели).

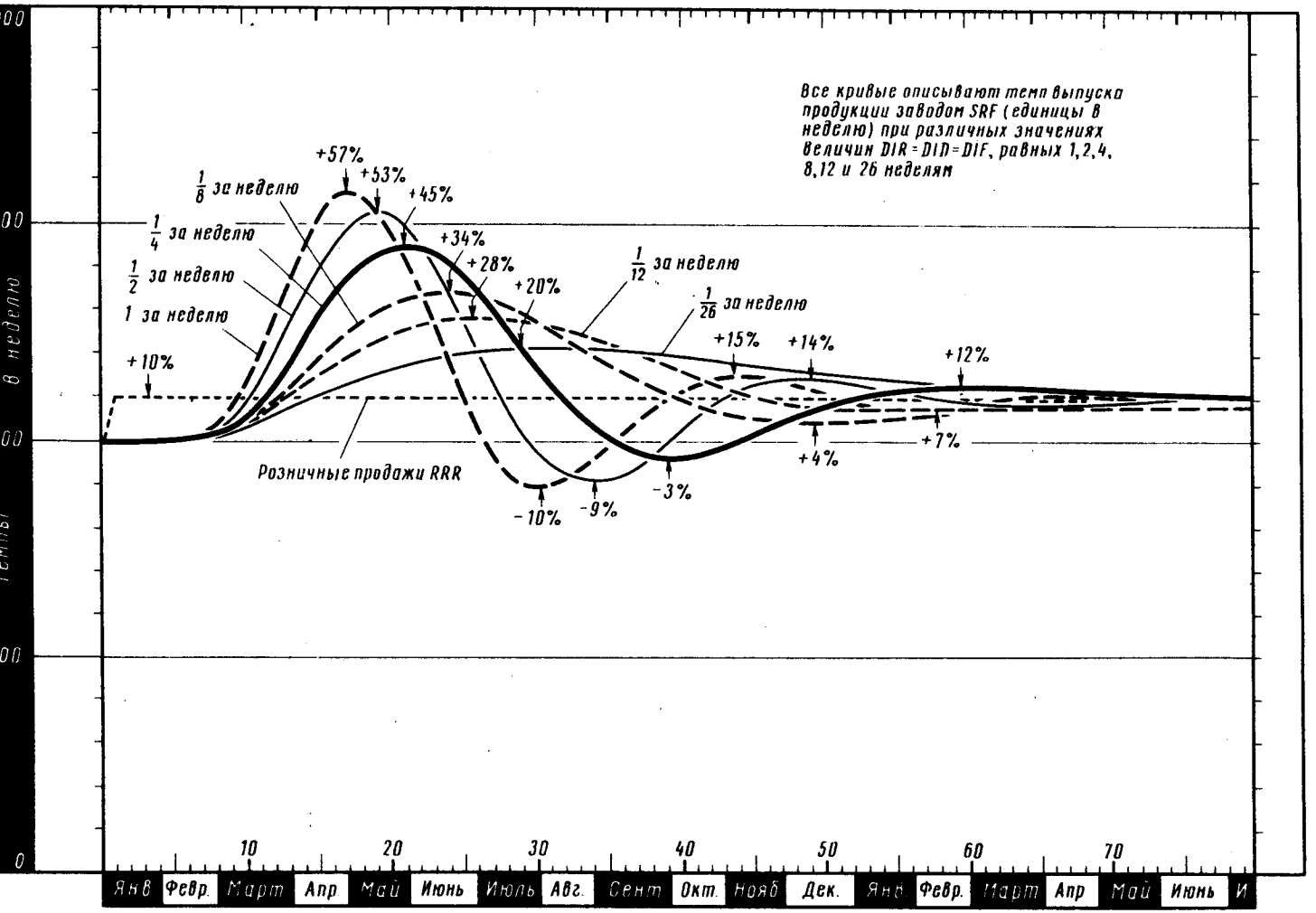
Следующее уравнение дает новое выражение объема заполнения канала обеспечения и заменяет уравнение 13-11:

$$LAR.K=CPR.K+PMR.K+UOF.K+MTR.K, \qquad 13\text{-}82, A$$

где

LAR — заказы, перемещающиеся фактически в каналах обеспечения розничного сбытового звена (единицы);

CPR — заказы, оформляемые в розничном сбытовом звене (единицы);



Р и с. 13-24. Изменение времени на корректировку объема запаса и размещение заказов.

PMR — заказы на закупку товаров, пересылаемые по почте из розничного сбытового звена (единицы);

UOF — невыполненные заказы, скопившиеся на предприятии (единицы);

MTR — товары, транспортируемые в розничное сбытовое звено (единицы).

Перемещение товаров в розницу можно связать с отгрузкой продукции заводским складом с помощью следующих уравнений, аналогичных уравнениям 13-17 и 13-18:

$$MTR.K = MTR.J + (DT)(SSF.JK - SRR.JK), \quad 13\text{-}83, L$$

$$SRR.KL = DELAY3\ (SSF.JK,\ DTR), \quad 13\text{-}84, R$$

где

MTR — товары в пути к розничному звену (единицы);

SSF — отгрузка продукции с заводского склада (единицы в неделю);

SRR — поступление товаров в розничное звено (единицы в неделю);

DELAY3 — функциональное обозначение, указывающее на уравнения запаздывания третьего порядка;

DTR — запаздывание транспортировки товаров в розничное звено (недели).

Заказы розничного звена производству можно описать следующими уравнениями, получаемыми из уравнений 13-15 и 13-34:

$PMR.K=PMR.J+(DT)(PSR.JK-RRF.JK)$, 13-85, L

$RRF.KL=DELAY3\ (PSR.JK,\ DMR)$, 13-86, R

где

PMR — выданные розничным звеном заказы на товары, находящиеся в почтовых каналах (единицы);

PSR — выданные розничным звеном заказы на закупку товаров (единицы в неделю);

RRF — требования (заказы), получаемые производством (единицы в неделю);

DELAY3 — функция, указывающая на уравнения запаздывания третьего порядка;

DMR — почтовое запаздывание заказов, отправленных производству из розничного звена (недели).

Кроме этих изменений уравнений модели, из системы уравнений необходимо исключить уравнения 13-16, с 13-19 по 13-33, 13-35 и 13-36, которые отражают оптовую торговлю.

Произведенная корректировка системы уравнений иллюстрирует процесс изменения организационной структуры моделируемой системы.

Испытание системы без подразделения оптовой торговли мы проведем при 10-процентном скачкообразном изменении темпа розничных продаж, которое описывается уравнениями 13-74 и 13-75.

Результаты испытаний, приведенные на рис. 13-23, соответствуют тому, что мы ожидали. Сравнение полученных результатов с соответствующими данными при наличии оптовых баз показывает, что колебания переменных в производственном подразделении сокращаются при исключении из системы оптовых баз. Результаты не были бы столь значительными, если бы длина канала между розничной торговлей и производством была бы большей по сравнению с принятой в данном случае, когда она равна длине существовавшего ранее канала между розничным звеном и оптовыми базами. Наша модель не содержит никаких функций оптового сбытового звена (таких, как продажи, обслуживание и инструктаж с целью помощи розничной торговле), кроме выдачи заказов и хранения товара. В связи с этим к полученным результатам, связанным лишь с одним из аспектов деятельности оптовой торговли в системе, следует подходить с соответствующей оценкой.

Сопоставление колебаний объема производства в системах с оптовыми базами и без них при синусоидальном вводе с годовым периодом и 10-процентным отклонением от среднего значения приведено в табл. 13-5.

Таблица 13-5. Колебания объема производства

	Максимум, %	Минимум, %
Без оптовых баз	+36	—33
С оптовыми базами	+72	—61

Эти цифры отражают колебания объема производства во втором и последующих годах, после того как ввод стал синусоидальным.

13.7.7. Быстрота регулирования запасов. Правила размещения заказов отражены в уравнениях 13-9,13-27 и 13-45, где константы *DIR*, *DID* и *DIF* определяют быстроту размещения заказов с целью регулирования запасов товаров и содержимого каналов. Эти константы определяют то влияние, которое оказывают на темп размещения заказов отклонения от нормы объема запасов и заполнения каналов системы. Чем больше константы, тем более постепенно происходит регулирование, тем меньше будет максимальный темп регулирования и тем больше время, в течение которого это регулирование будет осуществляться.

Влияние различных значений этих констант процесса регулирования показано на рис. 13-24. Каждая кривая представляет реакцию производства при различных испытаниях модели на вычислительной машине. Каждый раз в качестве ввода использовался темп розничных продаж с 10-процентным скачком, описываемый уравнениями 13-74 и 13-75. При каждом испытании три константы, относящиеся к трем подразделениям системы, имели одно и то же значение. Для отдельных испытаний эти значения были равны 1 неделе, 2 неделям, 4 неделям, 8 неделям, 12 неделям и 26 неделям. На предшествующих рисунках использовалась величина в 4 недели [1].

Если правила предусматривают удлинение периода регулирования запасов, то система переходит от реакций с большой амплитудой и коротким периодом колебаний к более стабильному образу действий с большим периодом между максимумами. Таким образом, быстрота регулирования запасов является одним из параметров, к изменению которых система весьма чувствительна.

[1] Величина в 4 недели, очевидно, слишком мала для реалистического отображения типичной сбытовой системы. Маловероятно, чтобы на изменения в среднем темпе продаж реагировали столь быстро.

Глава 14

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧЕЙ СИЛЫ

В этой главе рассматривается построение динамической модели, созданной в результате исследования определенной фирмы, в которой наблюдались колебания уровня численности персонала в пределах два к одному в интервалах времени между максимальными значениями около 2 лет. Казалось мало вероятным, чтобы такие явления объяснялись столь же резкими колебаниями темпа конечного потребления продукции фирмы. Модель показала, что наблюдаемая нестабильность численности персонала может быть обусловлена взаимодействиями между покупательским спросом, с одной стороны, и практикой фирмы в области образования запасов, подготовки производства и найма рабочей силы — с другой. Рассмотренный пример представляет общий интерес, поскольку он характерен для значительного числа американских предприятий. В этой главе описываются условия работы предприятия, приводится обоснование выбора различных факторов, вводимых в модель, и составляется математическая модель системы. В главе 15 приводятся результаты исследований, выполненных на модели и методы повышения стабильности численности персонала фирмы.

Проблемы и модель системы, обсуждаемые в данной главе, возникли при изучении деятельности фирмы, производящей детали электронного оборудования. При изложении воспроизведены все существенные черты проведенного исследования, хотя описание и модель системы несколько упрощены для большей наглядности и ясности понимания существа задачи. Поскольку в ряде случаев условия изучавшейся системы были недостаточно типичными для того, чтобы сделать модель в наибольшей степени обобщенной, некоторые числовые значения были изменены; кроме того, в модели отображены некоторые характерные особенности подобного рода систем, которые в конкретном рассматриваемом примере не были существенными. Однако ни одно из этих изменений не оказало ощутимого влияния ни на природу динамического поведения системы, ни на характер тех выводов, которые могут быть сделаны на основании проведенного анализа.

14. 1. Общее описание

Речь идет о фирме, поставляющей детали, используемые для изготовления электронного оборудования, приобретаемого промышленными и государственными потребителями. Клиенты рассматриваемой фирмы являются информированными покупателями ее изделий, полностью учитывающими собственные производственные нужды.

Изделия фирмы представляют собой высококачественные электронные детали и узлы, которые могут выпускаться значительным числом других фирм и применяться в военных и промышленных установках. Обычно считают, и, по-видимому, вполне правильно, что покупатель производимых фирмой деталей заинтересован прежде всего в их качестве, затем — в своевременности поставки и, наконец, в цене деталей. Цена может быть отнесена на третье место частично потому, что она действительно менее важна, чем качество изделий и своевременность их получения, а также и потому, что цены зависят от конкуренции и мало отличаются у возможных поставщиков. Поэтому цена представляется не главным мотивом при выборе того или иного поставщика требуемого изделия.

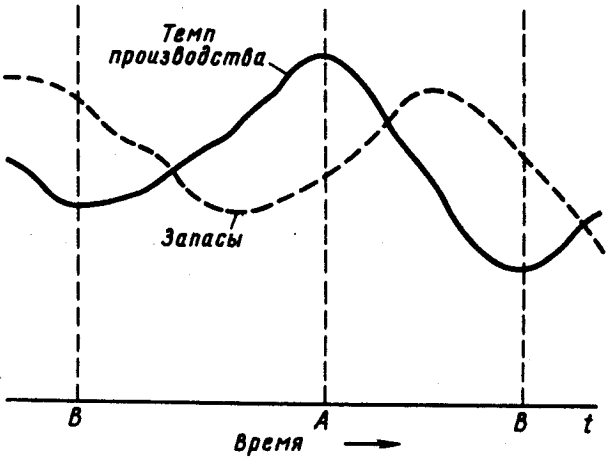
У фирмы, деятельность которой мы изучали, качество выпускаемых деталей оказалось высоким и тщательно контролировалось. Поэтому главным фактором обслуживания потребителей было быстрое выполнение поставок, что и оказывало влияние на взаимоотношения фирмы с покупателями ее продукции. К тому же поставки отличались большими колебаниями по номенклатуре и занимали больше времени, чем это было желательно.

Особенностью рассматриваемой системы являются колебания объема входящих заказов

из недели в неделю в весьма широких размерах: на протяжении смежных недель объем заказов мог отличаться в два и более раз. В связи с этим, по данным о заказах только что истекшей недели, нельзя было сказать, произошло ли какое-нибудь изменение среднего уровня продаж. Чтобы выявить какое-либо существенное изменение спроса, надо было определить средний уровень объема продаж за 10-недельный период и даже больший, тем самым задерживая получение нужной информации. Технические и производственные отделы промышленной клиентуры фирмы выдают спецификации своим отделам снабжения в такие сроки, чтобы можно было своевременно получить детали, необходимые для намеченного выпуска изделий. Это обычно означает, что заказы на поставку различных деталей и материалов размещаются в разное время с известным опережением по отношению к их производственному потреблению, сообразно сложившемуся практически запаздыванию получения того или иного вида комплектующих изделий.

Фирма испытывала колебания численности занятых рабочих в производстве конкретного вида продукции. Считалось при этом, что изменения в уровне продаж и производственной загрузки определяются исключительно изменчивостью темпов потребления продукции фирмы ее покупателями. Однако анализ природы изменений выпуска продукции и деятельности фирмы не выявил с достаточной степенью уверенности, что действительное потребление изделий фирмы колеблется столь же резко, как это имеет место в продажах и в производстве.

Динамика выпуска продукции обнаруживает типичные временные зависимости между объемом производства и объемом запасов у большинства предприятий. В очень упрощенной форме соотношения между выпуском продукции и размерами запасов нередко характеризуются зависимостями, аналогичными представленным на рис. 14-1. Существенной чертой здесь является то, что максимумы запасов следуют за максимумами производства и имеют место до того, как общий выпуск продукции достигнет минимальной величины. Согласно графику, запасы не только не выравнивают темпы производства продукции, а, напротив, способствуют возникновению подъемов и спадов производства. В момент времени *A* запасы увеличиваются, а производство достигает максимума. Это значит, что, когда система испытывает напряжение, производя продукцию в максимальном темпе, часть этой продукции идет в запас. В противоположность этому в точке *B* запасы сокращаются и в то же время уровень производства достигает минимума. Это означает, что покупательский спрос частично удовлетворяется за счет запасов. Следовательно, темпы производства в моменты времени *B* ниже темпов продаж, тогда как в моменты времени *A* темпы производства опережают продажи.



Р и с. 14-1. Взаимосвязь темпов производства и запасов.

Следовательно, выпуск продукции изменяется в большей степени, чем продажи. Для того чтобы оказывать нейтрализующее влияние на темпы производства, запасы не должны изменяться при подъемах и спадах производства. Чтобы уменьшить неравномерность производства, запасы должны сокращаться в момент максимального роста продаж и увеличиваться во время их спада. Но этого почти никогда не наблюдается в промышленной практике, за исключением случаев строго установленного годичного или сезонного спроса, поскольку образ действия большинства промышленных фирм таков, что он способствует установлению соотношений между запасами и производством, аналогичных представленным на рис. 14-1.

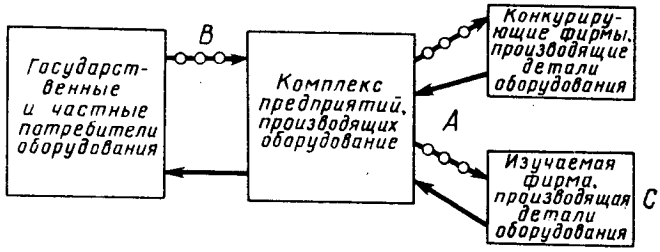
Проведенные наблюдения дали возможность объяснить возникновение колебаний и нестабильность работы системы взаимодействием практических методов работы различных звеньев предприятия. Даже если организационная структура и руководящие правила не были главными причинами колебаний продаж и численности рабочей силы, то по крайней мере они могли оказывать усугубляющее влияние,

усиливая изменения в темпах продаж по сравнению с конечным потреблением продукции. Исследование и построенная на его основе модель имели целью выяснить, не обусловлены ли эти симптомы внутренней структурой и политикой управления в системе. Вывод, сформулированный в главе 15, состоит в том, что это действительно так и поэтому возможны некоторые изменения, которые могут способствовать созданию гораздо более совершенной системы.

14. 2. Основные звенья системы

Один из первых шагов при исследовании динамики поведения промышленной системы состоит в предварительном выявлении факторов, которые, по-видимому, имеют существенное влияние на характер поведения изучаемой системы. Этот шаг, пожалуй, является наиболее важным и в то же время наиболее трудным во всем процессе создания модели. Пренебрегая некоторой частью системы, мы тем самым исключаем из модели те элементы ее поведения, которые обусловлены именно этой частью системы. В то же время мы знаем, что сферу исследования необходимо ограничивать, так как иначе изучение небольшой фирмы разрастется и охватит всю нашу национальную и международную экономическую систему. Существует слишком много различных факторов, которые можно было бы включить в модель, идя по пути простого отображения всей совокупности явлений, встречающихся в деятельности фирмы. Многие факторы, привлекающие внимание в обычной деятельности фирмы, могут оказаться незначительными, тогда как существенные взаимодействия зависят на деле от факторов, обычно недооцениваемых [1]. Для того чтобы выявить обстоятельства, которые подлежат изучению, необходим тщательный и вдумчивый анализ мнений и влияний, воздействующих на принятие решений, сведений о предыдущей деятельности фирмы, точек зрения, убеждений и сомнений. Все это следует рассматривать в свете определенного представления о путях формирования динамических взаимодействий в рамках системы. Выбор определяющих факторов будет неизбежно субъективным. При расхождении мнений относительно того, какие факторы являются определяющими, можно построить самостоятельные модели, отражающие имеющиеся разногласия; нередко это может помочь их преодолению.

На рис. 14-2 изображены основные звенья, на которые на первый взгляд представляется



Р и с. 14-2. Возможная схема основных подразделений системы.

целесообразным подразделить исследуемую систему. Включив первоначально в систему звено *C*, отображающее нашу фирму, которая поставляет отдельные детали, мы должны затем выяснить, необходимо ли включать в модель все остальные звенья, представленные на рисунке. Если бы поступающие заказы на фирму (точка *A*) совершенно не зависели от ее деятельности, то можно было бы рассматривать поток этих заказов как ввод модели, не зависящий от внутренней деятельности фирмы. Однако в действительности это не так. Входящие заказы в значительной степени зависят от того, насколько хорошо фирма удовлетворяет заказы покупателей. Следовательно, если образ действий фирмы оказывает влияние на позицию изготовителей электронного оборудования, которые являются покупателями продукции фирмы, а эта позиция в свою очередь воздействует на поток заказов в точке *A*, то мы должны соответствующим образом отразить в модели природу этого взаимодействия между фирмой и ее клиентами.

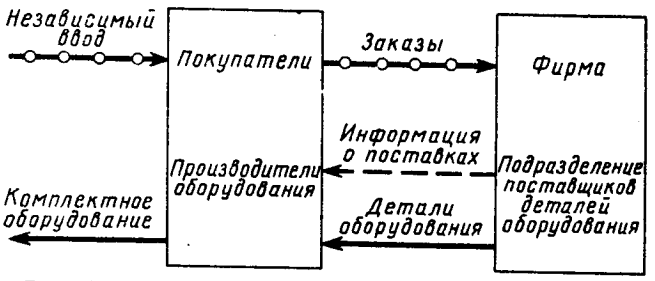
Аналогичный вопрос может быть поставлен относительно потока заказов, который исходит от потребителей готового оборудования и направлен на изготовляющие его предприятия (точка *B*). Будет ли образ действий поставщика деталей (точка *C*) оказывать влияние на поток заказов в точке *B*? Ответ, вероятно, будет отрицательным. Потребители готового оборудования при размещении своих заказов очень редко учитывают условия снабжения производства,

[1] Например, в рассматриваемом случае фирма не отдавала себе отчет в возможных динамических последствиях, которые могли бы возникнуть в поступлении клиентских заказов, под влиянием *изменяющегося* запаздывания поставки, хотя имелось достаточное ощущение важности быстрого выполнения заказов с точки зрения условий конкуренции.

где изготовляется это оборудование, различными мелкими или стандартными узлами и деталями. Поэтому можно считать, что поток заказов в точке *B* не зависит от действий фирмы, изготовляющей детали. Следовательно, потребители готового оборудования могут быть исключены из этой части структурной схемы модели, которая связана с фирмой — поставщиком деталей, ибо мы убедились в нецелесообразности вводить в модель каналы обратной связи от точки *C* к потребителям оборудования.

Рассмотрим теперь конкурирующие фирмы, также производящие отдельные детали для электронного оборудования. Должны ли быть включены в первую исходную модель эти фирмы? Ответ зависит от поставленной перед моделью задачи исследования. В том случае, когда мы намерены изучить характер поведения отрасли в целом (с чего, вообще говоря, и рекомендуется начинать), нам следовало бы включить в модель единое объединенное подразделение фирм, поставляющих детали. Это особенно оправдано при отсутствии каких-либо указаний о существенном различии в образе действий данной фирмы и ее конкурентов. В этом случае фирма и ее конкуренты, имеющие аналогичную структуру и придерживающиеся одинакового образа действий, будут вести себя тождественно и в модели. Следовательно, они могут рассматриваться как единое целое. После выявления характеристик системы могут возникнуть соображения о желательности изменения принятого образа действий. В этом случае может оказаться необходимым рассмотреть конкурирующее с нашей фирмой подразделение отдельно, ибо мы сможем предложить фирме такую совокупность руководящих правил, которая совершенно отлична от используемой ее конкурентами. До тех пор пока различия в образе действий конкурирующих фирм отсутствуют, в модель следует включить объединенное подразделение фирм, изготовляющих детали для оборудования.

Итак, мы включаем в модель, представленную схематически на рис. 14-3, два основных подразделения. Подразделение покупателей представляет собой совокупность всех производителей готового оборудования, в котором используются детали, изготовляемые изучаемыми фирмами. Подразделение, которое на рис. 14-3 названо просто фирмой, представляет совокупность всех поставщиков этих деталей. Поток заказов направляется от покупателей к фирме. Направление потока деталей противоположное — от фирмы к покупателям. Кроме того, покупатели получают от фирмы информацию о поставках, указывающую время, необходимое на выполнение заказа от момента получения заказа до поставки продукции. Заказы, поступающие к покупателям, представляют независимый ввод в систему, поскольку считается, что на них не оказывают влияния условия поставки деталей фирмой. Это предположение могло бы быть неверным, если бы



Р и с. 14-3. Выбранная схема основных элементов системы.

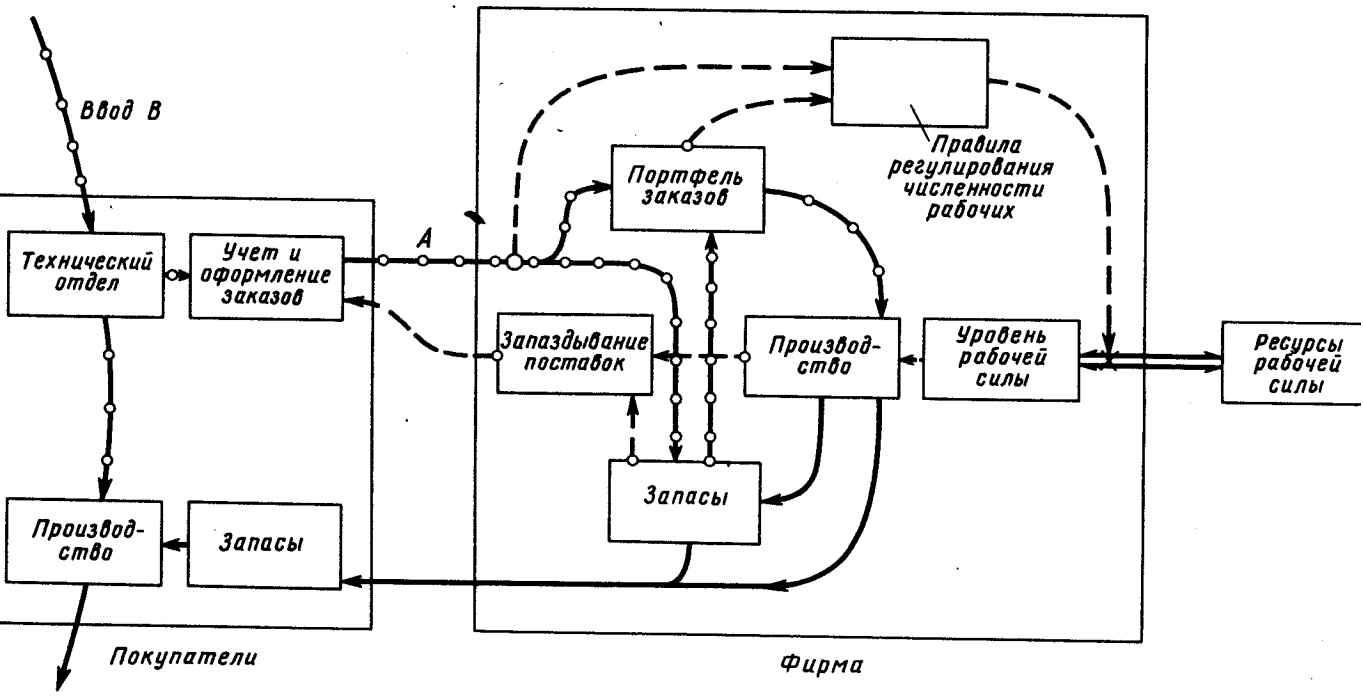
нехватка деталей действительно ограничивала возможности производства оборудования. Подобное положение в свою очередь могло бы оказать влияние и на размещение заказов на это оборудование. Однако мы полагаем, что предприятия, производящие оборудование, не допустят возникновения такой ситуации, ибо при появлении такой угрозы они либо сами начали бы изготовлять недостающие детали, либо привлекли бы дополнительный круг поставщиков.

14. 3. Факторы, включаемые в модель

Прежде чем приступить к разработке структуры модели, необходимо определить, какие наиболее характерные взаимодействия могут возникнуть в отношениях между покупателями и фирмой из-за запаздываний поставок фирмой. Некоторые причины возникновения этого запаздывания иллюстрируются на рис. 14-4. Предположим, что сохраняется некоторый постоянный поток заказов покупателям (вход *B*), но по некоторым причинам покупатели начинают заказывать детали фирме с некоторым опережением по сравнению со своими потребностями. Это может привести к кратковременному возрастанию темпа поступления заказов фирме от покупателей (точка *A*). Такое увеличение темпа заказов привело бы в свою очередь к определенному истощению запасов фирмы и

к увеличению числа не выполненных производством заказов. Из-за значительных естественных колебаний в объеме заказов от недели к неделе может оказаться практически нереальным быстро обнаружить истинную причину увеличения темпа заказов. В результате сокращение запасов и увеличение задолженности может привести к дальнейшему увеличению запаздывания в поставках. Такое положение в свою очередь заставит покупателей делать все больше заказов с еще большим опережением; подобная практика приведет к дальнейшему сокращению запасов фирмы и к непрерывному возрастанию числа невыполненных заказов. Это прогрессирующее увеличение запаздывания поставок, сопровождающееся увеличением времени опережения заказов покупателями, будет продолжаться до тех пор, пока темп производства фирмы не достигнет нового уровня, соответствующего возросшему темпу поступления заказов. Для обеспечения такого роста производства необходимо увеличить численность персонала фирмы; это увеличение численности складывается из двух частей. Вначале численность персонала необходимо увеличить, чтобы уравновесить возросший темп поступления заказов и тем самым остановить рост числа невыполненных заказов и сокращение запасов.

К этому времени обычно создается такое положение, при котором запасы незначительны, а число невыполненных заказов велико; в связи с этим фирма вынуждена сделать второй шаг в том же направлении — еще больше увеличить численность персонала, чтобы восстановить запасы и сократить до приемлемого уровня задолженность по заказам. В конечном счете это означает улучшение положения с поставками. По мере того как дело с поставками начинает выправляться, покупатели больше не испытывают необходимости выдавать заказы со значительным опережением, ибо они начинают получать требуемые для производства продукции детали без задержек. Вследствие этого число заказов, получаемых фирмой от покупателей, начинает сокращаться, снижаясь даже ниже уровня текущего потребления. Новый низкий уровень заказов будет сохраняться до тех пор, пока не будут исчерпаны избытки поставок, находящихся в каналах снабжения. В это время фирма обнаружит, что у нее имеются сущест-



Р и с. 14-4. Основные элементы системы.

венно возросшие запасы деталей и сократившееся число невыполненных заказов, в результате возникнет потребность сократить темп производства и уменьшить численность персонала, а это в свою очередь через некоторое время вновь приведет к увеличению запаздывания поставок, и только что описанный процесс вновь повторится. Таким образом, возникают постоянно существующие неустойчивые взаимодействия между заказами, которые в определенных условиях выдаются покупателями с опережением и регулированием численности персонала фирмы. Взаимодействия подобного рода проявляются на протяжении всего развития производительных сил и торговли; наша модель была создана для определения справедливости высказанных выше положений и выявления условий существования подобных явлений.

Если это исследование покажет, что существующая практика управления, обусловленная взаимоотношениями между фирмой и ее клиентурой, может привести к колебаниям, то следующим шагом должно было бы явиться изучение альтернативных руководящих правил фирмы, которые обеспечили бы большую стабильность работы системы.

Изложенное существо проблемы было установлено двумя или тремя специалистами, изучавшими деятельность системы в течение полутора лет. При повторном изучении подобной системы теми же специалистами для вынесения суждения потребуется, естественно, меньшее время. Однако при проведении наблюдений в первый раз необходимо затратить время на распознавание основного звена динамической системы, обнаружив его среди множества необходимых, но в то же время второстепенных сторон деятельности фирмы.

Необходимо всегда помнить, что успех модели зависит от того, что выбрано основным, наиболее важным в моделируемой системе. Параметры и элементы модели, к созданию которой мы теперь приступаем, будут выбраны в предположении правомочности результатов предшествующего анализа. Было принято, что динамическое поведение покупателей проявляется главным образом в том, как они реагируют на изменения запаздываний поставок. Поэтому наиболее важные руководящие правила, отображаемые в модели, должны показать скорость и характер реакции покупателей на изменения запаздываний поставок деталей фирмой.

В модель следует также включить те показатели деятельности фирмы и ее непосредственного окружения, которые могут оказать влияние на возможность поставок ее продукции. К числу подобных показателей относится уровень запасов; число заказов, которые могут быть удовлетворены из имеющегося запаса; число заказов, которые должны быть выполнены производством; темп производства и факторы, на него влияющие, и запаздывание производства.

В рассматриваемой фирме часть заказанных деталей поставлялась за счет запасов; другая часть изготовлялась специально по заказам покупателей. Состояние запасов определяло ту часть заказов, которая могла быть удовлетворена из располагаемого наличия готовых изделий. В объем производства необходимо было включать выпуск деталей как для удовлетворения поступивших заказов, так и для пополнения складских запасов.

Рассматриваемое производство требует больших затрат труда, и, следовательно, темпы производства в значительной степени обусловлены численностью рабочих. Практика и руководящие правила, определяющие изменения численности рабочих, в большой степени определяют изменения возможности фирмы осуществлять поставку. Поэтому очевидно, что они должны быть в центре внимания при создании моделей. Важнейшими факторами здесь являются те, которые обусловливают изменения в уровне численности работающих, и те запаздывания, которые воздействуют на эти изменения. При отображении в модели политики регулирования численности рабочих необходимо учитывать ряд факторов: основные изменения в уровне производительности труда; время, необходимое для подготовки новых рабочих; величину интервала времени между предупреждением об увольнении и увольнением, которое установлено правилами фирмы или трудовым соглашением; темпы найма рабочих, привлекаемых для выполнения как вновь поступающих заказов, так и заказов, связанных с возмещением запасов и сокращением имеющейся задолженности.

Некоторые факторы, которые часто являются существенными, в нашем случае могли не приниматься во внимание. Так, в нашем конкретном примере спрос на продукцию фирмы в течение длительного отрезка времени изменялся незначительно, поэтому производственные площади и оборудование сохранялись на неизменном уровне. Следовательно, оборудование и расходы на его приобретение могли не учитываться как факторы, влияющие на про-

изводственные возможности предприятия. Материалы, необходимые для производства, можно было получать весьма быстро, и, следовательно, они так же не оказывали существенного влияния на производственные возможности фирмы. Поэтому факторы, характеризующие закупки и запасы материалов, можно было также исключить из рассмотрения.

Кассовая наличность, прибыльность и другие подобные факторы, по-видимому, не оказывали существенного влияния на принимаемые решения в отношении темпов производства и численности рабочих. Эти решения, очевидно, полностью определялись факторами, характеризующими спрос на изготовляемую продукцию. Следовательно, не было необходимости отображать в функции принятия решений модели финансовые аспекты. Однако расчет прибыли и поток денежных средств были включены в модель, чтобы получить хотя бы грубое средство для оценки различия результатов, получаемых при проигрываниях модели.

14. 4. Уравнения, описывающие систему

Перейдем теперь к составлению формальной математической модели рассматриваемой системы. Это будет выполнено в девяти последующих параграфах, где будут рассмотрены:

— выполнение заказов;
— заказы на возмещение запасов;
— производство;
— заказы на основные материалы (как фактор в потоках денежных средств и в кассовом наличии);
— рабочая сила;
— оценка запаздываний поставок;
— заказы покупателей;
— потоки денежных средств;
— прибыль и дивиденды.

Для наглядности последующего изложения на рис. 14-5 показана взаимосвязь этих девяти факторов системы, а также изображен независимый проверочный ввод. Модель в целом включает в себя около 90 основных переменных и примерно 40 уравнений, характеризующих исходные условия. Рассматриваемую систему определяет около 40 постоянных величин — констант системы.

14.4.1. Выполнение заказов. Вначале должны быть составлены уравнения, которые описывают деятельность подразделений фирмы, получающих входящие заказы и вырабатывающих решения, согласно которым часть из поступивших заказов должна быть удовлетворена из запасов, а оставшаяся — выполнена производством. На рис. 14-6 изображены функциональные связи, которые необходимо отобразить в модели; для этого в модель включены запасы готовой продукции и учитываются критерии, которые определяют, имеется ли возможность полностью удовлетворить поступившие заказы за счет запасов.

Уравнение 14-1 определяет уровень заказов, находящихся в процессе оформления на заводе RCF; к этому уровню заказов добавляются вновь поступившие требования и вычитаются те требования, решение об удовлетворении которых либо за счет запасов, либо путем изготовления уже принято:

$$RCF.K=RCF.J+(DT)(RRF.JK-RFIF.JK-RMOF.JK), \quad 14\text{-}1, L$$

$$RCF=(RRF)(DCPF), \quad 14\text{-}2, N$$

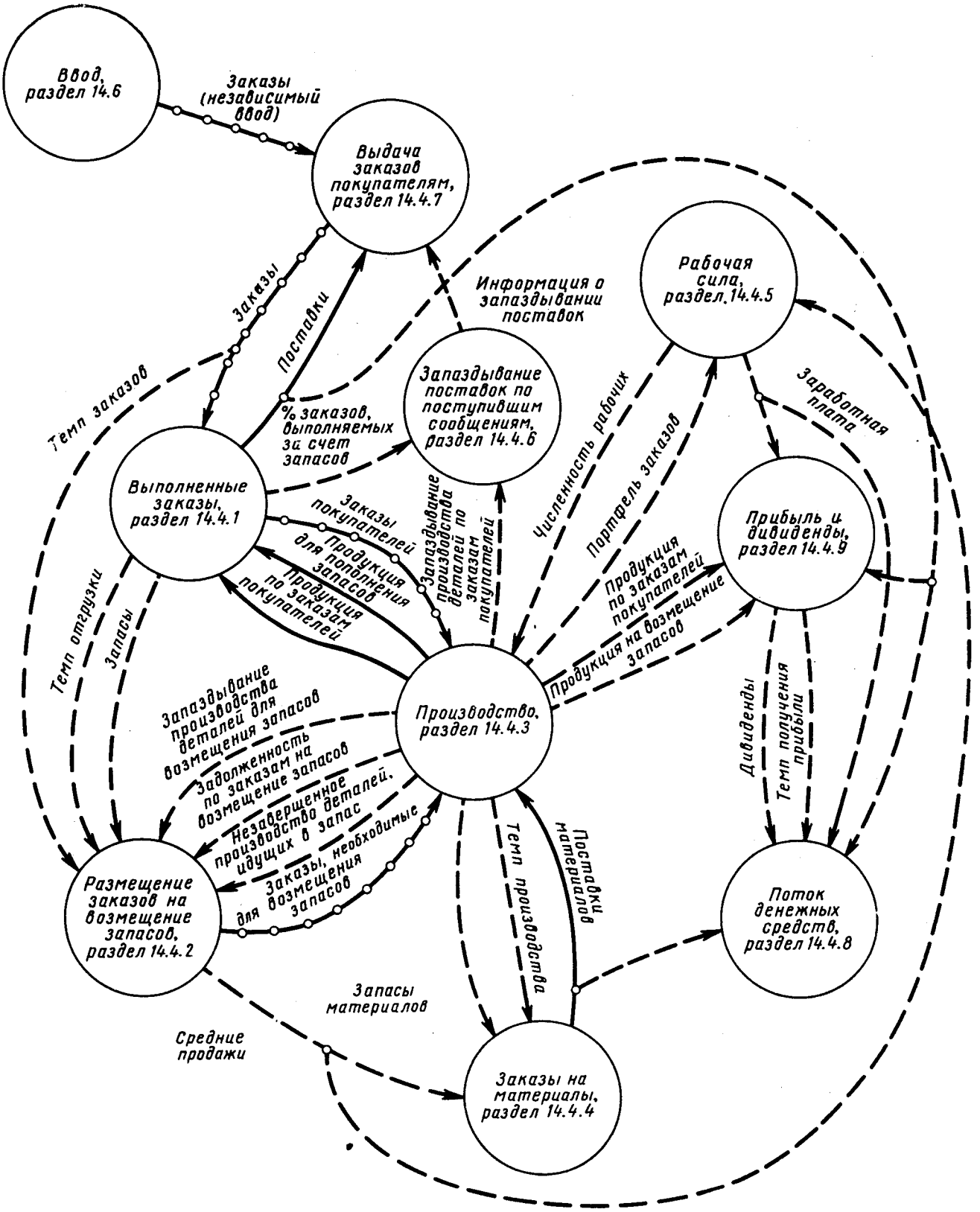
где

RCF — требования в процессе оформления на заводе (единицы);
DT — интервал времени между решениями уравнений; в рассматриваемом случае этот интервал принят равным 0,25 недели;
RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю);
$RFIF$ — темп требований, выполняемых за счет запасов завода (единицы в неделю);
$RMOF$ — темп требований, удовлетворяемых производством (единицы в неделю);
$DCPF$ — запаздывание оформления требований на заводе (недели).

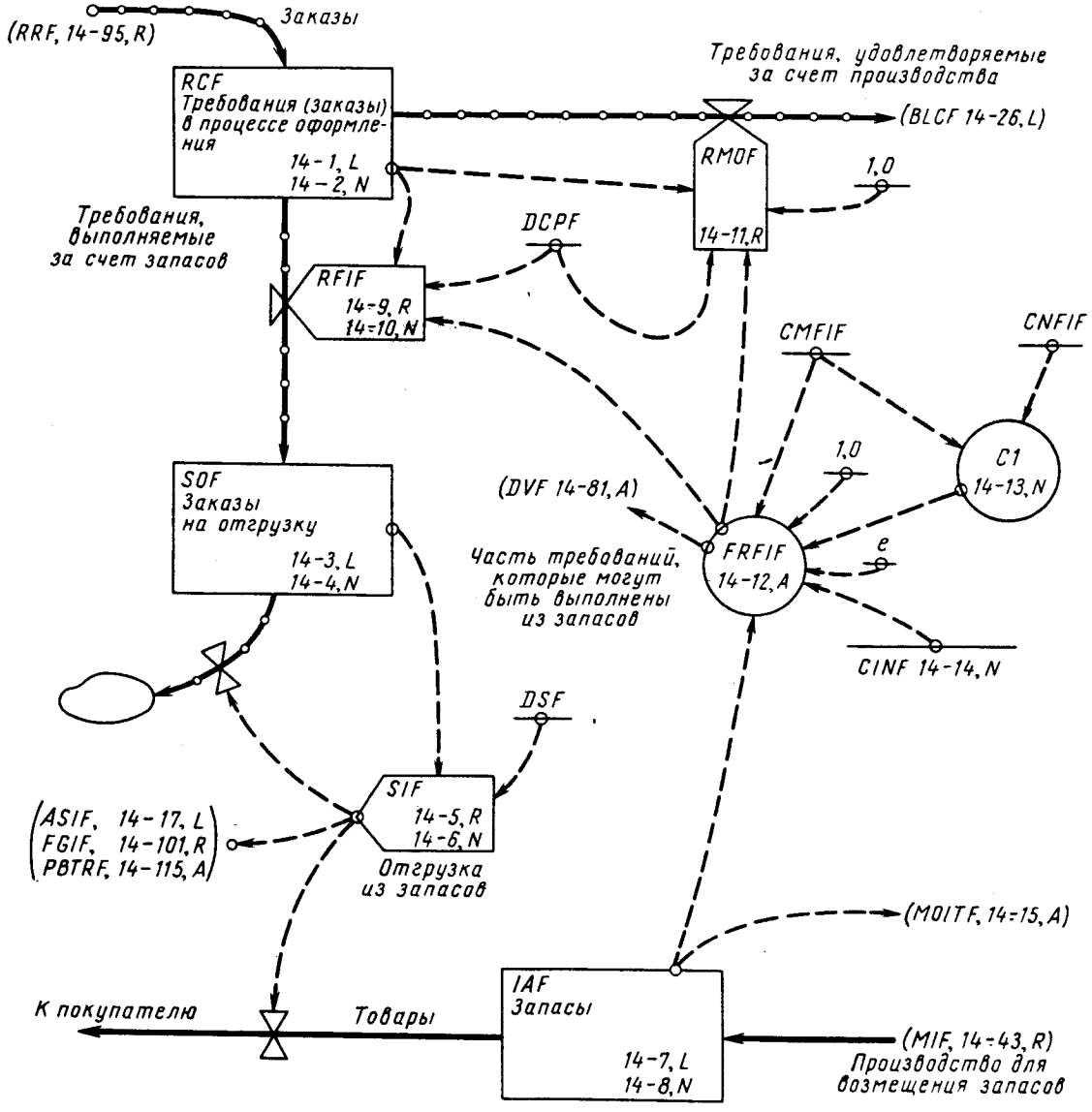
Уравнение 14-1 является стандартным по форме уравнением уровня [1] с одним входящим темпом и двумя исходящими.

Оно определяет число требований, полученных заводом, но еще не оформленных. Входящий поток является потоком требований (заказов) покупателей, а исходящий поток состоит из двух частей: из потока требований, удовлетворяемых за счет запасов $RFIF$, и потока требований $RMOF$, продукция по которым должна быть изготовлена заводом.

[1] Здесь и в дальнейшем уравнения уровней будут даны без подробных пояснений, поскольку они будут приводиться в форме, достаточно хорошо раскрытой в главах 5, 6, 7 и 13.



Р и с. 14-5. Подразделения модели и их взаимосвязь (с указанием соответствующих параграфов).



Р и с. 14-6. Выполнение заказов.

Уравнение начальных условий [1] 14-2 определяет начальное значение уровня *RCF* как произведение установившегося значения входящего потока заказов *RRF* на величину среднего запаздывания их оформления *DCPF*.

Предстоящие за счет запасов поставки по заказам, которые уже оформлены, но еще не выполнены, определяются с помощью уравнения уровня 14-3.

$$SOF.K=SOF.J+(DT)(RFIF.JK-SIF.JK), \qquad 14\text{-}3,\ L$$

$$SOF=(RFIF)(DSF), \qquad 14\text{-}4,\ N$$

где

SOF — заказы на отгрузку с завода (единицы).

[1] Уравнения начальных условий были рассмотрены в отдельных параграфах главы 13 после того, как была разработана основная модель. В настоящей главе уравнения начальных условий рассматриваются сразу же после уравнений соответствующих переменных. При таком методе изложения легче представить себе природу переменных, описываемых уравнениями уровней.

$RFIF$ — темп требований, удовлетворяемых за счет запасов завода (единицы в неделю);
SIF — отгрузка продукции из запасов завода (единицы в неделю);
DSF — запаздывание отгрузки продукции на заводе (недели).

В уравнении 14-4 начальное установившееся значение уровня SOF равно величине установившегося потока заказов $RFIF$, которые удовлетворяются из запасов, умноженных на среднее запаздывание отгрузок DSF.

Темп отгрузок по заказам будет представлен как фиксированная часть задолженности по заказам SOF. Определяя эту часть с помощью показательного запаздывания первого порядка, получим:

$$SIF.KL = \frac{SOF.K}{DSF}, \qquad 14\text{-}5,\ R$$

$$SIF = RFIF, \qquad 14\text{-}6,\ N$$

где
SIF — отгрузка продукции из запасов завода (единицы в неделю);
SOF — заказы на отгрузку с завода (единицы);
DSF — запаздывание отгрузки продукции на заводе (недели);
$RFIF$ — темп требований, удовлетворяемых за счет запасов завода (единицы в неделю).

Среднее запаздывание отгрузки DSF в данном примере принималось равным одной неделе.

Уравнение 14-6 определяет начальное значение темпа поставок продукции SIF, который в установившихся условиях должен быть равен потоку заказов $RFIF$, удовлетворяемых за счет запаса.

Запас готовой продукции на предприятии определяется обычным уравнением уровней:

$$IAF.K = IAF.J + (DT)(MIF.JK - SIF.JK), \qquad 14\text{-}7,\ L$$

$$IAF = (CIRF)(RRF), \qquad 14\text{-}8,\ N$$

где
IAF — действительный запас на заводе (единицы);
MIF — темп производства для возмещения запаса на заводе (единицы в неделю);
SIF — отгрузка продукции из запасов завода (единицы в неделю);
$CIRF$ — коэффициент относительного запаса на заводе (недели);
RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю).

В этом случае цель запаса — получить возможность обеспечить продажи в течение определенного числа недель при отсутствии новых поступлений. Поэтому начальный установившийся уровень запаса в уравнении 14-8 пропорционален постоянной начальной величине потока входящих заказов, умноженной на коэффициент $CIRF$, характеризующий отношение между темпом продаж и уровнем запасов [1]. Коэффициент $CIRF$ представляет собой число недель, на протяжении которых желательный уровень запаса мог бы обеспечить удовлетворение спроса на продукцию при заданном, установившемся темпе потока заказов (в предположении, что все заказы могли быть удовлетворены за счет запасов).

Возвращаясь теперь к темпу потока требований $RFIF$, составляющих ту часть общего потока входящих требований, которая может быть удовлетворена за счет запаса, мы уже знаем, что его значение зависит главным образом от трех факторов — уровня еще не оформленных требований RCF, среднего запаздывания оформления $DCPF$ и величины той части заказов, которая может быть удовлетворена за счет запасов $FRFIF$ (величина $FRFIF$ будет рассмотрена ниже). Взаимосвязь этих трех величин с достаточной степенью точности может быть описана следующими уравнениями:

$$RFIF.KL = (FRFIF.K)\left(\frac{RCF.K}{DCPF}\right), \qquad 14\text{-}9,\ R$$

$$RFIF = (CNFIF)(RRF), \qquad 14\text{-}10,\ N$$

где
$RFIF$ — темп требований, удовлетворяемых за счет запасов завода (единицы в неделю);
$FRFIF$ — часть общего числа требований, которая удовлетворяется за счет запасов завода (безразмерная величина);
RCF — требования в процессе оформления на заводе (единицы);
$DCPF$ — запаздывание оформления требований на заводе (недели);
$CNFIF$ — константа, нормальная часть общего числа требований, которая удовлетворяется из запасов завода (безразмерная величина);

[1] Это не означает, что запасы должны быть пропорциональны только продажам, особенно при кратковременных колебаниях деловой активности. Запасы, кроме того, зависят и от ряда других факторов, связанных с увеличением уровня деловой активности, в частности с увеличением территории, которая охватывается деятельностью фирмы, что требует создания новых складов; с увеличением объема индивидуальных поставок и т. д.

RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю).

Общий темп потока требований, исходящих из уровня *RCF*, может быть определен как отношение величины *RCF.K* к среднему запаздыванию *DCPF*. Чтобы определить поток заказов, которые могут быть выполнены за счет запасов, этот общий поток должен быть умножен на коэффициент *FRFIF*. Начальное значение темпа, согласно уравнению 14-10, равно произведению нормальной части требований *CNFIF*, которые могут быть удовлетворены за счет запаса, и исходного установившегося темпа потока заказов *RRF*.

Среднее время, необходимое для подготовки заказов к запуску в производство, включая проверку технической документации и кредитоспособности покупателя, в данном примере принято равным одной неделе (*DCPF*=1 неделе).

Темп потока заказов, направленных в производственные подразделения *RMOF*, по сути дела определяется той частью требований, которая не может быть удовлетворена за счет запасов:

$$RMOF.KL=(1-FRFIF.K)\left(\frac{RCF.K}{DCPF}\right), \quad 14\text{-}11, R$$

где

RMOF — темп требований, удовлетворяемых производством (единицы в неделю);

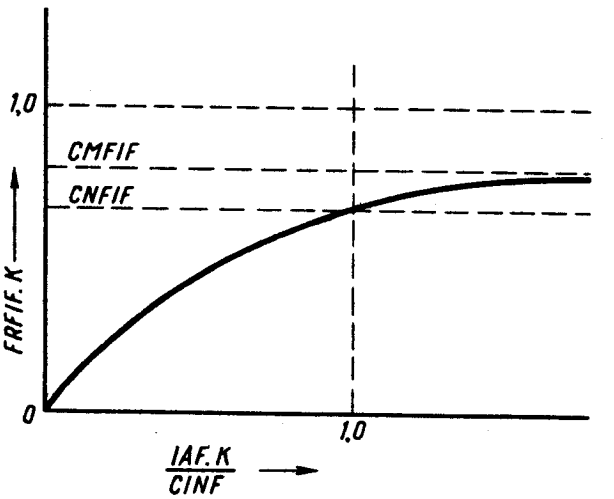
FRFIF — часть требований, удовлетворяемых из запаса (безразмерная величина);

RCF — требования в процессе оформления на заводе (единицы);

DCPF — запаздывание оформления требований на заводе (недели).

Чтобы завершить этот параграф, нам необходимо определить ту часть заказов *FRFIF*, которая может быть выполнена за счет запаса. По существу, эта величина является переменной, связанной с агрегированным потоком заказов на все виды выпускаемой фирмой продукции (количество различных видов продукции в рассматриваемом примере составляло несколько тысяч). Вообще говоря, мы можем ожидать, что чем меньше будет запас, тем больше будет различаться величина *FRFIF* для разных видов продукции. Очевидно, что по мере сокращения запасов все большая часть потока входящих заказов будет направляться в производство, вместо того чтобы быть выполненной за счет запасов.

На рис. 14-7 представлена одна из возможных зависимостей между величиной *FRFIF* и уровнем запасов; характер этой зависимости определяется следующими соображениями. Некоторые виды продукции настолько специфичны, что их никогда не изготовляют в запас. Следовательно, уже по этой причине должен существовать верхний предел рассматриваемой величины *CMFIF*, которую не может превышать доля заказов, удовлетворяемых за счет запасов. Следующей важной характеристикой приведенной зависимости является часть заказов *CNFIF*, которая в нормальных условиях



Р и с. 14-7. Требования, выполняемые за счет запасов.

может быть удовлетворена за счет запасов, когда эти запасы находятся на некотором определенном уровне. Мы можем рассматривать величину *CNFIF* как такую часть требований, которую при нормальных условиях мы могли бы удовлетворять за счет запасов. Эта величина будет всегда меньше максимальной величины *CMFIF*. Другими словами, запасы как бы оказываются неоправданно высокими.

На рис. 14-7 по оси абсцисс отложено безразмерное отношение действительной величины запаса к желательной его величине *CINF*, которая соответствует «нормальному» разделению общего потока требований на части, удовлетворяемые за счет запаса и производства.

Рис. 14-7 показывает, что при возрастании полного агрегированного запаса рассматриваемая часть требований *FRFIF* возрастает медленно, приближаясь к предельному значению *CMFIF*, отображающему требования на те детали, которые могут быть найдены на складе. При сокращении запасов величина *FRFIF* вна-

чале уменьшается медленно, а затем, по мере приближения запасов к нулю, все быстрее и быстрее. При запасе, равном нулю, ни одно из требований не может быть удовлетворено за счет запасов. Система устроена так, что в этом случае все требования будут направлены в производство.

Следует отметить, что, согласно рис. 14-7, величина рассматриваемой части требований *FRFIF* зависит только от уровня запасов и не зависит, например, от темпа поступления требований *RRF*. Это, вообще говоря, справедливо лишь при некоторых определенных условиях. В частности, в том случае, если на складах постоянно поддерживается определенный разумный уровень всех видов выпускаемых фирмой деталей, то существует определенная вероятность того, что вновь поступивший заказ будет удовлетворен за счет запасов; эта вероятность будет в некоторой мере зависеть от ранее выполненных поставок. При этом предполагается, что средний *объем* каждого отдельного требования не изменяется; это значит, что деловая активность возрастает за счет поступления новых заказов, а не за счет увеличения размера заказов.

Зависимость, показанная на рис. 14-7, может быть отображена в модели двумя способами. Ряд значений величины *FRFIF* может быть определен для нескольких различных уровней запасов, а значения этой величины для промежуточных значений уровней могли бы быть найдены с помощью интерполирования. Кроме того, мы можем аппроксимировать кривую рис. 14-7 некоторой аналитической зависимостью. В этом последнем случае часть требований, которая удовлетворяется за счет запасов, будет выражаться уравнением, имеющим следующий вид:

$$FRFIF.K = (CMFIF) \times \left(1 - e^{-(C1)\left(\frac{IAF.K}{CINF}\right)}\right), \qquad 14\text{-}12,\ A$$

где

FRFIF — часть общего числа требований, удовлетворяемая из запасов завода (безразмерная величина);

CMFIF — константа, максимальная часть общего числа требований, которая может быть удовлетворена за счет запасов завода (безразмерная величина);

C1 — константа, выбираемая в зависимости от формы кривой, представленной на рис. 14-7, и выбранной исходной точки (безразмерная величина);

IAF — действительный запас на заводе (единицы);

CINF — константа, необходимый запас на заводе, при котором обеспечивается равенство величин *FRFIF* и *CNFIF* (единицы).

Согласно уравнению 14-12, при *IAF*, стремящемся к нулю, показатель степени экспоненты стремится также к нулю, и последний член уравнения становится равным единице. Следовательно, правая часть уравнения оказывается равной (1—1), то есть величина *FRFIF* равна нулю. При неограниченном увеличении *IAF* экспоненциальный член в 14-12 стремится к нулю и *FRFIF* становится равным *CMFIF*, что и следовало ожидать. Экспоненциальная функция подобного вида имеет одну степень свободы, определяемую возможностью выбора постоянной *C1*. Постоянную *C1* следует выбирать таким образом, чтобы кривая проходила через точку, соответствующую величине *CNFIF* на рис. 14-7, когда запасы равны заданной величине *CINF* [1].

$$C1 = \log_e \frac{CMFIF}{CMFIF - CNFIF}, \qquad 14\text{-}13,\ N$$

где

C1 — константа, выбранная в зависимости от формы кривой, представленной на рис. 14-7 (безразмерная величина);

CMFIF — константа, максимальная часть общего числа требований, удовлетворяемых за счет запасов завода (безразмерная величина);

CNFIF — константа, нормальная часть требований, удовлетворяемых из запасов завода (безразмерная величина).

Уравнение 14-13 является уравнением начальных условий, определяющим величину постоянной *C1*, при которой кривая рис. 14-7 пройдет через желаемое значение величины *CNFIF*. При этом необходимо следить за тем, чтобы величина *CNFIF* была меньше, чем *CMFIF*.

В результате анализа структуры складских запасов и величины той части заказов, которую

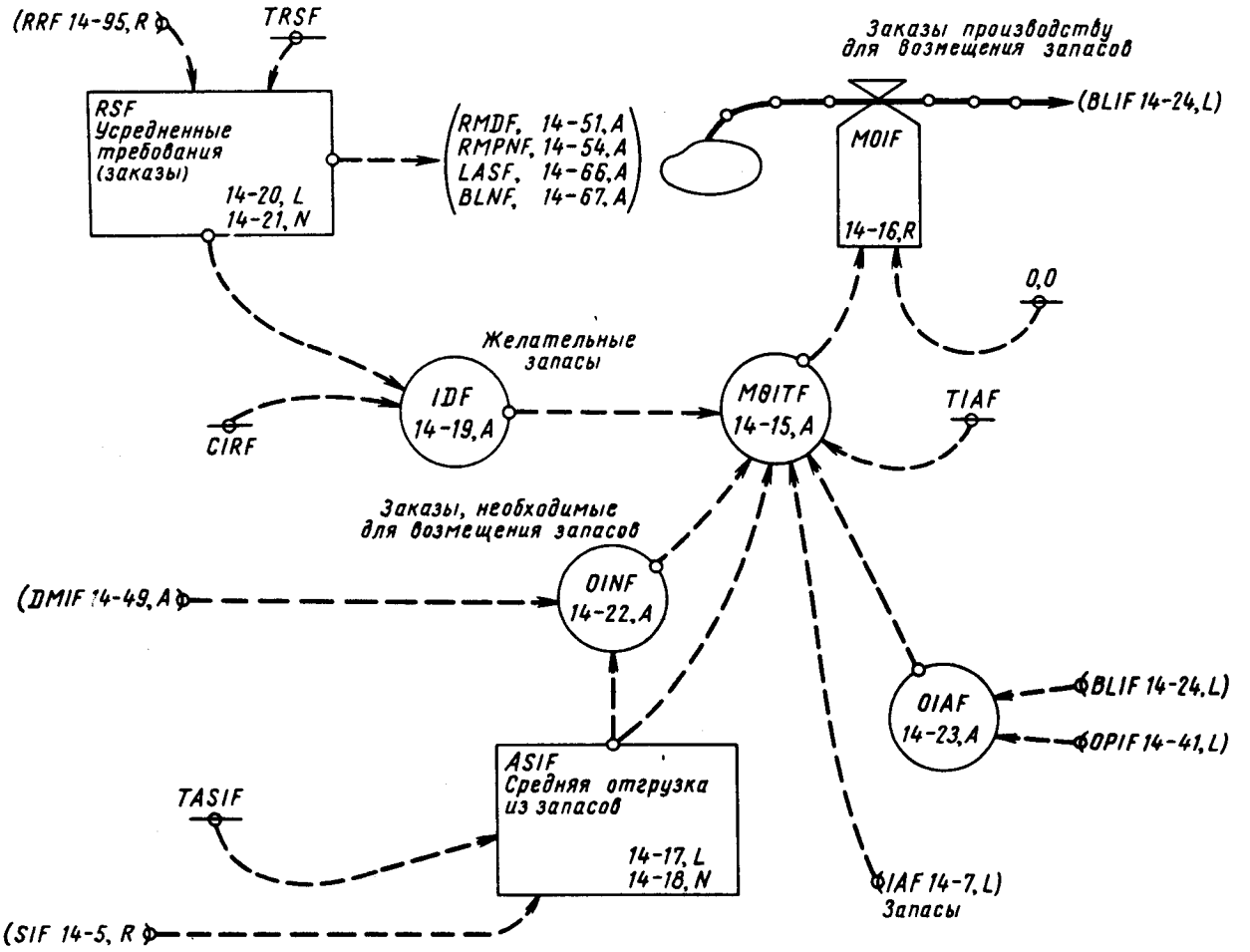
---

[1] При $IAF = CINF$ уравнение 14-12 принимает вид: $FRFIF = CNFIF = (CMFIF)(1 - e^{-C1})$.

Преобразуя, получим $e^{-C1} = \frac{CMFIF - CNFIF}{CMFIF}$,

откуда $e^{C1} = \frac{CMFIF}{CMFIF - CNFIF}$.

Логарифмируя, получаем уравнение 14-13.



Р и с. 14-8. Заказы на возмещение запасов.

целесообразно удовлетворять за счет запасов, мы установили, что максимальное значение этой части заказов, *CMFIF*, равно 0,8, а соответствующее нормальное значение величины *CNFIF*, при которой покупатели обслуживаются достаточно равномерно, составляет 0,7.

График на рис. 14-7 был построен в предположении, что в установившихся условиях работы системы желательно, чтобы величины *IAF* и *CINF* были равны между собой и, следовательно, чтобы имело место равенство величин *FRFIF* и *CNFIF*. Это действительно так, ибо такое равенство вытекает из определения величины *CNFIF*. Соответственно величина *CINF* является постоянной, значение которой должно быть равно величине начального запаса при установившихся условиях работы системы:

$$CINF = IAF, \qquad 14\text{-}14,\ N$$

где

CINF — константа, необходимый запас на заводе, при котором обеспечивается равенство величин *FRFIF* и *CNFIF* (единицы);

IAF — действительный запас на заводе (единицы).

На этом мы заканчиваем рассмотрение той части модели, которая связана с входящими заказами, заказами на поставки из запасов и заказами покупателей, направляемыми на завод.

14.4.2. Заказы на возмещение запаса. Схема принятия решения о выдаче заказа с целью возмещения запаса представлена на рис. 14-8.

В рассматриваемой ситуации отсутствовали формально записанные правила, определяющие процедуру выдачи заказов с целью возмещения запасов. Однако анализ бесед и обсуждений со

специалистами, связанными с этой проблемой, позволил выявить три главных фактора, обусловливающих правила возмещения запасов. Первый фактор — это средний темп сокращения запасов в связи с поставками покупателям. Второй фактор — регулирование фактического запаса с целью приведения его в соответствие с желательным уровнем. Третьим фактором является выявление числа заказов, направляемых на возмещение запасов и находящихся в производстве, и времени производства продукции по этим заказам.

В этом случае решение о возмещении запаса формулируется как типичное изолированное решение в области управления запасами, при принятии которого не принимается во внимание тот эффект, который оно может оказать на динамику всей системы. В следующей главе мы покажем влияние, оказываемое подобными руководящими правилами, и некоторые возможные пути их изменения. При принятой здесь формулировке модели целью регулирования запасов является их увеличение при росте среднего темпа продаж. Решения о выдаче заказов на возмещение запасов будут соответствовать обычной практике руководителей складского хозяйства и сбытовых организаций выдавать заказы с опережением в ответ на увеличение запаздывания поставок заводом. Приводимое ниже уравнение связывает ряд факторов аналогично тому, как это было сделано выше при выводе уравнения 13-9, описывающего процесс размещения заказов:

$$MOITF.K = ASIF.K + \frac{1}{TIAF}(IDF.K - IAF.K + OINF.K - OIAF.K), \qquad 14\text{-}15,\ A$$

где

MOITF — проверяемый темп производственных заказов на возмещение заводского запаса (единицы в неделю);

ASIF — средняя отгрузка продукции из запасов завода (единицы в неделю);

TIAF — время регулирования запасов на заводе (недели);

IDF — желательный запас на заводе (единицы);

IAF — действительный запас на заводе (единицы);

OINF — заказы, необходимые для возмещения запасов на заводе (единицы);

OIAF — действительное число заказов на возмещение запасов на заводе (единицы).

Первый член в правой части этого уравнения представляет среднее значение темпа отгрузки продукции из запаса *ASIF*. Использование величин, усредненных в течение короткого промежутка времени, более удобно и реалистично по сравнению с методом, рассмотренным при решении уравнения 13-9, когда использовались текущие, мгновенные, действительные значения темпов отгрузки товаров, хотя в действительности у нас нет оснований считать, что эти методы могут привести к существенно различным результатам. Выражение в круглых скобках правой части уравнения 14-15 дает сумму двух разностей: первой — между желательным и действительным уровнем запасов и второй — между необходимым и действительным числом заказов на возмещение запасов, находящихся в производстве. Разница между желательными и действительными величинами компенсируется посредством дополнительных еженедельных заказов, равных определенной части от этой разницы, определяемой значением постоянной времени регулирования *TIAF*. Численное значение величины *TIAF*, которая определяет скорость регулирования, в рассматриваемом примере принято равным шести неделям.

Уравнение 14-15 является скорее вспомогательным, чем уравнением темпов, ибо оно эмпирическое. Главная его задача — предотвратить возникновение отрицательного потока заказов заводу. Действительный, реальный темп выдачи производственных заказов устанавливается в результате следующего сопоставления его с проверяемой величиной этого темпа, определяемой по уравнению 14-15.

$$MOIF.KL = \begin{cases} MOITF.K, & \text{если } MOITF.K \geqslant 0, \\ 0, & \text{если } MOITF.K < 0, \end{cases} \qquad 14\text{-}16,R$$

где

MOIF — производственные заказы на возмещение запаса на заводе (единицы в неделю);

MOITF — проверяемый темп производственных заказов на возмещение заводского запаса (единицы в неделю).

Для преобразования текущего значения темпа поставок из запасов в среднюю величину этого темпа можно воспользоваться обычным уравнением показательного усреднения первого порядка, аналогично тому, как это было сделано

в уравнении 14-15:

$$ASIF.K = ASIF.J + \frac{DT}{TASIF} \times$$
$$\times (SIF.JK - ASIF.J), \qquad 14\text{-}17,\ L$$
$$ASIF = RFIF, \qquad 14\text{-}18,\ N$$

где

ASIF — средняя отгрузка продукции из запасов завода (единицы в неделю);
TASIF — время усреднения этих отгрузок (недели);
SIF — отгрузка продукции из запасов завода (единицы в неделю);
RFIF — темп требований, удовлетворяемых из запаса завода (единицы в неделю).

Усредненный темп поставок из запаса должен отражать отгрузки, выполненные в самое последнее время. Следовательно, нужно брать короткие промежутки усреднения; в нашем случае величина *TASIF* принята равной двум неделям.

Согласно уравнению 13-7 и как это подчеркивалось ранее при рассмотрении руководящих правил, целью регулирования запасов является поддержание их на уровне, пропорциональном средним продажам:

$$IDF.K = (CIRF)(RSF.K), \qquad 14\text{-}19,\ A$$

где

IDF — желательный запас на заводе (единицы);
CIRF — коэффициент относительного запаса на заводе (недели);
RSF — усредненный темп требований (единицы в неделю).

В нашем конкретном примере принимается такая величина запаса, чтобы за его счет можно было бы осуществлять поставки в течение 4 недель (*CIRF*=4 недели), хотя во многих случаях запас может быть существенно большим.

Уравнение 14-19 требует определения среднего уровня продаж. Его значение может быть получено путем, аналогичным рассмотренному в уравнении 13-8:

$$RSF.K = RSF.J + \frac{DT}{TRSF} \times$$
$$\times (RRF.JK - RSF.J), \qquad 14\text{-}20,\ L$$
$$RSF = RRF, \qquad 14\text{-}21,\ N$$

где

RSF — усредненный темп требований (единицы в неделю);
TRSF — время усреднения требований на заводе (недели);
RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю).

Такое усреднение темпа входящих заказов было необходимо из-за значительных колебаний величины потока требований от недели к неделе. Прежде чем принимать решения, следует определить усредненные значения и для других подобным образом изменяющихся потоков. Усреднение может осуществляться как обычным формальным способом, так и быть интуитивным или психологическим усреднением, производимым на основе располагаемой информации. Уравнение 14-20 показывает, что в течение каждой недели определенная часть разности между значениями текущих и средних продаж используется для корректировки уровня средних продаж. В установившихся в среднем условиях темп продаж будет равен темпу поступающих требований *RRF*, как это дано в уравнении 14-21.

В данном примере время усреднения *TRSF* было принято равным 15 неделям.

Нормальное число заказов на возмещение запасов, продукция по которым находится в стадии изготовления, должно равняться средней величине темпа отгрузки продукции, умноженной на время производственного запаздывания, характерного для изготовления деталей в запас:

$$OINF.K = (ASIF.K)(DMIF.K), \qquad 14\text{-}22,\ A$$

где

OINF — заказы, необходимые для возмещения запасов на заводе (единицы);
ASIF — средняя отгрузка продукции из запасов завода (единицы в неделю);
DMIF — запаздывание (переменное) изготовления продукции для возмещения запасов на заводе (недели).

Действительное число выполняемых производством заказов *OIAF*, предназначенных для пополнения запаса, равно сумме заказов, к выполнению которых производство еще не приступило, и числа заказов, уже находящихся в производстве:

$$OIAF.K = BLIF.K + OPIF.K, \qquad 14\text{-}23,\ A$$

где

OIAF — действительное число заказов на возмещение запасов на заводе (единицы);

BLIF — портфель не начатых производством заказов для возмещения запаса (единицы);
OPIF — заказы на возмещение запаса в процессе производства на заводе (единицы).

На этом можно завершить рассмотрение вопроса о выдаче заказов с целью возмещения запасов и приступить к изучению производственного подразделения фирмы.

14.4.3. Производство. Деятельность производственных подразделений фирмы представлена здесь двумя потоками: потоком продукции для пополнения запаса и потоком продукции, идущей непосредственно на удовлетворение заказов покупателей. В реальном производстве эти два потока взаимно переплетаются; однако в модели они будут нами рассматриваться отдельно, с тем чтобы выявить необходимые переменные, характеризующие каждый из этих потоков. Соответственно на рис. 14-9 показаны два портфеля невыполненных заказов и два производственных запаздывания. Поскольку в моделируемом процессе оба вида заказов смешаны воедино, то мы на первой стадии исследования не можем отдать предпочтения выполнению ни одного из этих видов заказов. В следующей, 15-й главе будет рассмотрено несколько альтернативных правил управления, в которых будет отдан приоритет выполнению заказов покупателей.

Первое уравнение определяет портфель не начатых производством заказов на пополнение запаса.

$$BLIF.K=BLIF.J+(DT)(MOIF.JK-BLIRF.JK), \quad 14\text{-}24,\ L$$

$$BLIF=(RFIF)(DNBLF), \quad 14\text{-}25,\ N$$

где

BLIF — портфель не начатых производством заказов на возмещение запаса (единицы);
MOIF — производственные заказы на возмещение заводского запаса (единицы в неделю);
BLIRF — темп уменьшения портфеля не начатых производством заказов на возмещение запаса на заводе (единицы в неделю);
RFIF — темп требований, удовлетворяемых из запасов завода (единицы в неделю);
DNBLF — запаздывание в нормальном портфеле заказов на заводе (недели).

Уравнение 14-25 определяет исходное число не начатых производством заказов на пополнение запаса как произведение установившегося потока заказов, удовлетворяемых из запасов *RFIF*, и нормальной продолжительности нахождения заказа в портфеле не начатых производством заказов *DNBLF* (численное значение этой величины приводится после уравнения 14-67).

Аналогичное уравнение может быть записано для задолженности по работам, выполняемым с целью непосредственного удовлетворения требований покупателей:

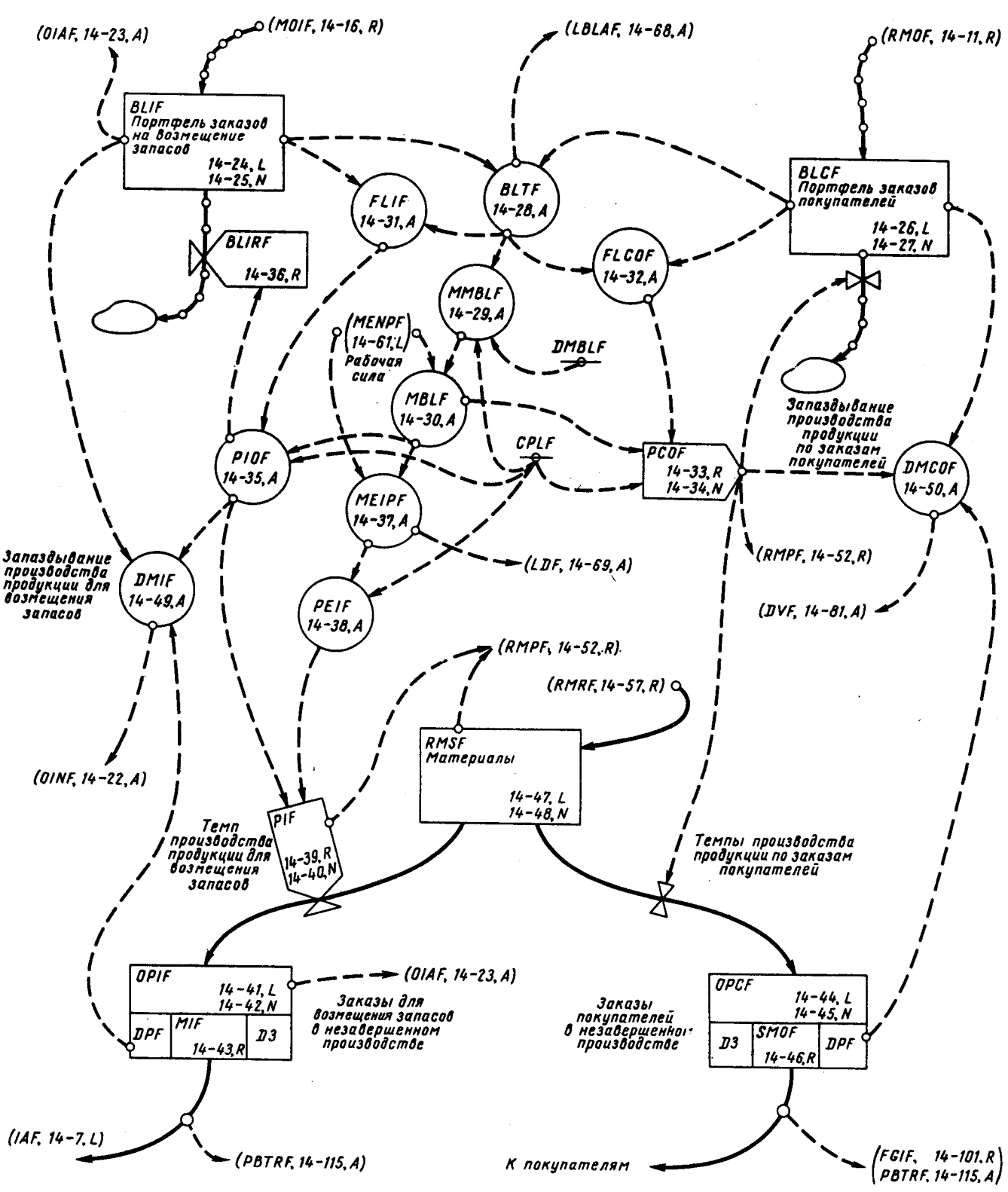
$$BLCF.K=BLCF.J+(DT)(RMOF.JK-PCOF.JK), \quad 14\text{-}26,\ L$$

$$BLCF=(RRF-RFIF)(DNBLF), \quad 14\text{-}27,\ N$$

где

BLCF — портфель не начатых производством заказов покупателей (единицы);
RMOF — темп поступления требований покупателей на завод (единицы в неделю);
PCOF — производство продукции по заказам покупателей (единицы в неделю);
RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю);
RFIF — темп требований, удовлетворяемых из запасов завода (единицы в неделю);
DNBLF — запаздывание в нормальном портфеле заказов на заводе (недели).

Теперь необходимо отобразить распределение производственного персонала по каждому из потоков заказов. В нормальных условиях оба портфеля заказов были смешаны, то есть не отдавалось какого-либо приоритета ни одному из рассматриваемых потоков. Это означает, что распределение рабочей силы производилось пропорционально имевшемуся в каждом из потоков числу не начатых производством заказов. Следовательно, именно таким и должен был быть образ деятельности в нормальной ситуации. Однако могут возникнуть такие промежутки времени, в течение которых имеющийся производственный персонал может произвести большее количество продукции по сравнению с числом заказов в портфеле в этот период. В подобных случаях число не начатых производством заказов не должно стать отрицательным, наоборот, часть рабочей силы переключается на производство с целью накопления запасов.


(OIAF, 14-23, A)
(MOIF, 14-16, R)
(LBLAF, 14-68, A)
(RMOF, 14-11, R)
BLIF
Портфель заказов на возмещение запасов
14-24, L
14-25, N
BLTF
14-28, A
BLCF
Портфель заказов покупателей
14-26, L
14-27, N
FLIF
14-31, A
BLIRF
14-36, R
FLCOF
14-32, A
MMBLF
14-29, A
(MENPF
14-61, L)
Рабочая сила
DMBLF
MBLF
14-30, A
Запаздывание производства продукции по заказам покупателей
PIOF
14-35, A
CPLF
PCOF
14-33, R
14-34, N
DMCOF
14-50, A
MEIPF
14-37, A
Запаздывание производства продукции для возмещения запасов
DMIF
14-49, A
(LDF, 14-69, A)
(RMPF, 14-52, R)
PEIF
14-38, A
(DVF, 14-81, A)
(RMPF, 14-52, R)
(RMRF, 14-57, R)
RMSF
Материалы
14-47, L
14-48, N
(OINF, 14-22, A)
Темп производства продукции для возмещения запасов
PIF
14-39, R
14-40, N
Темпы производства продукции по заказам покупателей
OPIF
14-41, L
14-42, N
(OIAF, 14-23, A)
DPF
MIF
14-43, R
D3
Заказы для возмещения запасов в незавершенном производстве
Заказы покупателей в незавершенном производстве
OPCF
14-44, L
14-45, N
D3
SMOF
14-46, R
DPF
(IAF, 14-7, L)
(PBTRF, 14-115, A)
К покупателям
(FGIF, 14-101, R)
(PBTRF, 14-115, A)

Приводимые ниже уравнения описывают распределение рабочей силы с учетом приведенных соображений.

Первое уравнение определяет суммарный располагаемый портфель заказов:

$$BLTF.K = BLIF.K + BLCF.K, \qquad 14\text{-}28,\ A$$

где

BLTF — общий портфель невыполненных заказов на заводе (единицы);

BLIF — портфель заказов на предприятии на возмещение запасов (единицы);

BLCF — портфель заказов покупателей на заводе (единицы).

Задолженность по заказам не должна сокращаться ниже некоторой величины, эквивалентной минимальному времени подготовки заказов к запуску в производство. Это минимальное запаздывание в портфеле невыполненных заказов определяет максимально возможный темп запуска заказов в производство, что в свою очередь определяет максимальную численность рабочих, которые могут быть эффективно использованы при данном запуске. Любое превышение этого количества рабочей силы приведет к изготовлению продукции, превышающей заказанную для пополнения запаса:

$$MMBLF.K = \frac{BLTF.K}{(DMBLF)(CPLF)}, \qquad 14\text{-}29,\ A$$

где

MMBLF — максимальная численность рабочих, необходимых для изготовления продукции в соответствии с портфелем заказов на заводе (человек);

BLTF — общий портфель заказов на заводе (единицы);

DMBLF — минимальное запаздывание в портфеле заказов на заводе (недели);

CPLF — константа, производительность труда на заводе (единицы за человеко-неделю).

В приведенном уравнении взято отношение общей задолженности по заказам к минимальному запаздыванию в портфеле не начатых производством заказов, необходимому для подготовки их запуска в производство. Это отношение определяет максимальный темп, с которым заказы могут поступать в производство. Затем этот темп делится на величину производительности труда с тем, чтобы определить максимальную численность рабочих, которые могут быть использованы для изготовления продукции по поступившим заказам.

Минимальное время подготовки заказов к запуску в производство *DMBLF* в нашем примере составляет одну неделю; производительность труда *CPLF*, которая не оказывает влияния на динамику системы, мы приняли равной $2^2/_3$ единицы в человеко-неделю.

Численность рабочих, привлекаемых к изготовлению продукции в соответствии с портфелем заказов, должна быть либо меньше располагаемой, либо меньше допустимой (как это определено уравнением 14-29):

$$MBLF.K = \begin{cases} MENPF.K, \text{ если } MMBLF.K \geqslant \\ \geqslant MENPF.K \\ MMBLF.K, \text{ если } MMBLF.K < \\ < MENPF.K \end{cases}, \qquad 14\text{-}30,\ A$$

где

MBLF — численность рабочих, изготовляющих продукцию в соответствии с портфелем заказов (человек);

MENPF — численность рабочих на заводе (человек);

MMBLF — максимальная численность рабочих, необходимых для изготовления продукции в соответствии с портфелем заказов на заводе (человек).

Численность рабочих, которые должны быть привлечены к работам по сокращению портфеля заказов, будет пропорциональна размерам этого портфеля. Общее количество рабочих делится на две части, каждая из которых пропорциональна соответственно заказам на возмещение запасов и заказам покупателей:

$$FLIF.K = \frac{BLIF.K}{BLTF.K}, \qquad 14\text{-}31,\ A$$

$$FLCOF.K = \frac{BLCF.K}{BLTF.K}, \qquad 14\text{-}32,\ A$$

где

FLIF — часть рабочей силы, занятая выполнением заказов на возмещение запасов (безразмерная величина);

BLIF — портфель заказов на возмещение запасов на заводе (единицы);

BLTF — полный общий портфель заказов на заводе (единицы);

FLCOF — часть рабочей силы, занятая выполнением заказов покупателей (безразмерная величина);

BLCF — портфель заказов покупателей на заводе (единицы).

Число рабочих, занятых выполнением заказов покупателей, составляет определенную часть общего числа рабочих и определяется по уравнению 14-32. Это число рабочих, умноженное на производительность труда, определяет темп производства продукции по заказам покупателей:

$$PCOF.KL=(FLCOF.K)(MBLF.K)(CPLF), \quad 14\text{-}33, R$$

$$PCOF=RRF—RFIF, \quad 14\text{-}34, N$$

где

PCOF — производство продукции по заказам покупателей (единицы в неделю);
FLCOF — часть рабочей силы, занятая выполнением заказов покупателей (безразмерная величина);
MBLF — численность рабочих, изготовляющих продукцию в соответствии с портфелем заказов (человек);
CPLF — константа, производительность труда на заводе (единицы за человеко-неделю);
RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю);
RFIF — темп требований, удовлетворяемых из запасов завода (единицы в неделю).

Аналогичное уравнение определяет темп производства по заказам на возмещение запасов. Однако вначале это уравнение будет составлено как вспомогательное, ибо вычисление этой величины необходимо для расчета двух различных темпов.

$$PIOF.K=(FLIF.K)(MBLF.K)(CPLF), \quad 14\text{-}35, A$$

$$BLIRF.KL=PIOF.K, \quad 14\text{-}36, R$$

где

PIOF — производство продукции по заказам на возмещение запасов (единицы в неделю);
FLIF — часть рабочей силы, занятая выполнением заказов на возмещение запасов (безразмерная величина);
MBLF — численность рабочих на заводе, изготовляющих продукцию в соответствии с портфелем заказов (человек);
CPLF — константа, производительность труда на заводе (единицы за человеко-неделю);
BLIRF — темп уменьшения портфеля заказов на возмещение запаса на заводе (единицы в неделю).

Действительное общее количество изготовленной продукции, которая направляется в запас, складывается из двух частей: одна изготовлена в соответствии с заказами, другая произведена той избыточной рабочей силой, которая превышает необходимую для производства продукцию в объеме, соответствующем портфелю заказов. Избыток рабочих и темп, в котором они могут выпускать продукцию вначале, будут определены следующими уравнениями:

$$MEIPF.K=MENPF.K—MBLF.K, \quad 14\text{-}37, A$$

$$PEIF.K=(MEIPF.K)(CPLF), \quad 14\text{-}38, A$$

где

MEIPF — численность рабочих, производящих избыточный запас продукции (человек);
MENPF — численность рабочих на заводе (человек);
MBLF — численность рабочих, изготовляющих продукцию в соответствии с портфелем заказов на заводе (человек);
PEIF — избыточная продукция, идущая в запас на заводе (единицы в неделю);
CPLF — константа, производительность труда на заводе (единицы за человеко-неделю).

Уравнение 14-37 показывает, имеется ли избыточная рабочая сила сверх необходимой для производства продукции в соответствии с портфелем заказов.

Уравнение 14-38 определяет избыточную продукцию как произведение избыточной рабочей силы на величину производительности труда, которая здесь рассматривается как постоянная величина.

Общее производство продукции, идущей в запас, определяется суммой только что вычисленных двух составляющих:

$$PIF.KL=PIOF.K+PEIF.K, \quad 14\text{-}39, R$$

$$PIF=RFIF, \quad 14\text{-}40, N$$

где

PIF — темп запуска в производство продукции, предназначаемой для возмещения запаса на заводе (единицы в неделю);
PIOF — производство продукции по заказам на возмещение запаса на заводе (единицы в неделю);

PEIF — избыточная продукция, идущая в запас на заводе (единицы в неделю);
RFIF — темп требований, удовлетворяемых за счет запасов на заводе (единицы в неделю).

При формулировке модели мы считаем, что процесс производства состоит из двух этапов. На первом этапе определяется количество используемой рабочей силы, что в свою очередь определяет темп запуска изделий в производство. Содержание второго этапа составляет выпуск продукции, который начинается по истечении времени запаздывания производства (время изготовления), после которого возможно получить готовую продукцию [1]. Если было бы желательно более углубленное и точное изучение этого вопроса, то производство могло бы быть подразделено на большее число отдельных этапов с распределением рабочей силы и выявлением производственных запаздываний по каждому из них.

Уравнения, характеризующие второй этап производства, имеют вид:

$$OPIF.K=OPIF.J+(DT)(PIF.JK-MIF.JK), \quad 14\text{-}41, L$$
$$OPIF=(DPF)(RFIF), \quad 14\text{-}42, N$$
$$MIF.KL=DELAY3(PIF.JK, DPF), \quad 14\text{-}43, R$$

где

OPIF — заказы на возмещение запаса в незавершенном производстве (единицы);
PIF — темп запуска в производство продукции, предназначаемой для возмещения запаса на заводе (единицы в неделю);
MIF — темп выпуска продукции для пополнения запасов (единицы в неделю);
DPF — производственное запаздывание (недели);
RFIF — темп требований, удовлетворяемых из запасов на заводе (единицы в неделю);
DELAY3 — указание на уравнения запаздывания третьего порядка.

Производственное запаздывание в нашем примере отображается как показательное запаздывание третьего порядка, средняя продолжительность которого (*DPF*) составляет 6 недель.

[1] Вопросы управления выпуском продукции и запаздывания производства подробно рассмотрены выше, в разделе, предшествующем уравнению 13-9.

Аналогично определяется производственное запаздывание выполнения заказов покупателей:

$$OPCF.K=OPCF.J+(DT)(PCOF.JK-SMOF.JK), \quad 14\text{-}44, L$$
$$OPCF=(DPF)(RRF-RFIF), \quad 14\text{-}45, N$$
$$SMOF.KL=DELAY3(PCOF.JK, DPF), \quad 14\text{-}46, R$$

где

OPCF — заказы покупателей в незавершенном производстве (единицы);
PCOF — производство продукции по заказам покупателей на заводе (единицы в неделю);
SMOF — темп отгрузки продукции, изготовленной по заказам покупателей (единицы в неделю);
DPF — производственное запаздывание (недели);
RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю);
RFIF — темп требований, удовлетворяемых из запасов (единицы в неделю);
DELAY3 — указание на уравнения запаздывания третьего порядка.

Установившийся поток заказов, выполняемых производством по спецификации покупателей, определяется в уравнении 14-45 разностью между общим входящим потоком заказов *RRF* и потоком заказов, выполняемых за счет запасов *RFIF*.

Количество основных материалов на заводе определяется темпом их поступления на завод и темпом расходования материалов на производство продукции как в запас, так и по требованиям покупателей:

$$RMSF.K=RMSF.J+(DT)(RMRF.JK-PIF.JK-PCOF.JK), \quad 17\text{-}47, L$$
$$RMSF=(RRF)(CRMSF), \quad 17\text{-}48, N$$

где

RMSF — запасы основных материалов на заводе (в эквивалентных единицах) [1];
RMRF — поступление основных материалов на завод (в эквивалентных единицах);
PIF — темп запуска в производство продукции, предназначаемой в запас (единицы в неделю);

[1] Под эквивалентной единицей понимается количество основных материалов, расходуемых для изготовления одного изделия.— *Прим. ред.*

PCOF — производство продукции по заказам покупателей (единицы в неделю);
RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю);
CRMSF — коэффициент, характеризующий запас материалов на заводе (недели).

Общее запаздывание в производственных подразделениях фирмы играет существенную роль при принятии решений в других частях системы. Запаздывание состоит из двух частей: первая часть определяется временем пребывания заказа в портфеле невыполненных заказов; вторая часть представляет собой действительное производственное запаздывание.

Уравнение 14-49 определяет ожидаемое общее производственное запаздывание при изготовлении продукции в запас как сумму действительного производственного запаздывания и отношения задолженности по заказам к темпу сокращения этой задолженности:

$$DMIF.K = DPF + \frac{BLIF.K}{PIOF.K}, \qquad 14\text{-}49,\ A$$

где

DMIF — запаздывание (переменное) выпуска продукции в запас (недели);
DPF — производственное запаздывание (недели);
BLIF — портфель не начатых производством заказов на возмещение запасов на заводе (единицы);
PIOF — производство продукции по заказам на возмещение запасов (единицы в неделю).

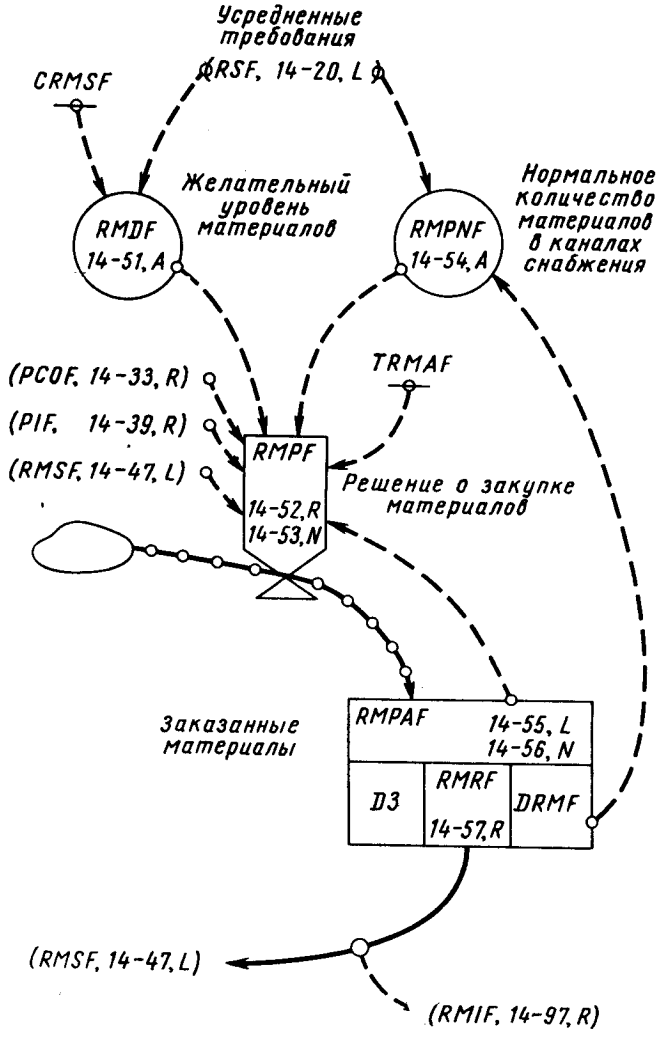
Запаздывание выпуска продукции по требованиям покупателей определяется как сумма постоянного действительного производственного запаздывания и переменного запаздывания в портфеле невыполненных заказов:

$$DMCOF.K = DPF + \frac{BLCF.K}{PCOF.JK}, \qquad 14\text{-}50,\ A$$

где

DMCOF — запаздывание (переменное) выпуска продукции по требованиям покупателей (недели);
DPF — производственное запаздывание (недели);
BLCF — портфель не начатых производством заказов покупателей на заводе (единицы);
PCOF — производство продукции по заказам покупателей (единицы в неделю).

Поскольку мы считаем, что темпы производства пропорциональны размерам портфеля невыполненных заказов и что ни одному из видов



Р и с. 14-10. Заказы на материалы

заказов не отдается предпочтения, то оба рассмотренных запаздывания будут стремиться к одному и тому же значению.

14.4.4. Заказы на основные материалы. Вначале, рассматривая общие задачи изучения динамики системы, мы отметили, что снабжение материалами не оказывает существенного влия-

ния на решения, связанные с производственной деятельностью. Тем не менее мы включили в модель уравнения, характеризующие снабжение материалами и запаздывания поставок материалов, с тем чтобы отразить потоки денежных средств, расходуемых на приобретение материалов.

Приведенные ниже уравнения, описывающие выдачу заказов на материалы, подобны рассмотренным в главе 13; соответствующая диаграмма потоков представлена на рис. 14-10.

Прежде всего мы должны определить желательный запас основных материалов на заводе *RMDF*, чтобы сопоставить с ним действительный запас:

$$RMDF.K=(RSF.K)(CRMSF), \qquad 14\text{-}51, A$$

где

RMDF — желательный запас основных материалов на заводе (в эквивалентных единицах);

RSF — усредненный темп поступления требований на завод (единицы в неделю);

CRMSF — коэффициент, характеризующий задержку в снабжении завода материалами (недели).

Желательный запас материалов мы принимаем равным шестикратному темпу его среднедельного потребления, то есть $CRMSF=6$ неделям.

Темп закупок материалов зависит от темпа его потребления производством, а также от условий регулирования складских запасов и содержимого каналов снабжения; приводимое ниже уравнение для определения темпа закупок материалов аналогично ранее приведенному уравнению 13-9:

$$RMPF.KL=PCOF.JK+PIF.JK+\frac{1}{TRMAF}\times$$
$$\times(RMDF.K-RMSF.K+$$
$$+RMPNF.K-RMPAF.K), \qquad 14\text{-}52, R$$
$$RMPF=RRF, \qquad 14\text{-}53, N$$

где

RMPF — закупки материалов (в эквивалентных единицах в неделю);

PCOF — производство продукции по заказам покупателей (единицы в неделю);

PIF — темп запуска в производство продукции для возмещения запасов (единицы в неделю);

TRMAF — время регулирования запасов материалов на заводе (недели);

RMDF — желательный запас основных материалов на заводе (эквивалентные единицы);

RMSF — запас основных материалов на складе завода (эквивалентные единицы);

RMPNF — нормальное количество материалов в каналах снабжения (единицы);

RMPAF — действительное количество материалов в каналах снабжения (единицы);

RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю).

В уравнении 14-52 мы вновь полагаем, что определяемый в данный момент времени темп закупок материалов зависит от существующего в этот момент темпа потребления материалов производством, хотя в принципе следовало бы провести усреднение величин и учесть запаздывания, как это было сделано в уравнении 14-17. Выражение в скобках в уравнении 14-52 представляет собой сумму двух разностей: первой — между желательным и действительным запасами материалов и второй — между необходимым и действительным количеством материалов в каналах снабжения. Постоянная времени *TRMAF* определяет темп корректировки несоответствия между желательными и действительными величинами. Принятое нами значение постоянной *TRMAF*, равное 8 неделям, означает, что корректировка этого несоответствия в течение одной недели составляет $^1/_8$ от величины оставшейся разницы.

Необходимое число заказов на материалы и количество материалов в пути в каналах материального снабжения пропорциональны среднему уровню деловой активности и протяженности рассматриваемых каналов снабжения:

$$RMPNF.K=(RSF.K)(DRMF), \qquad 14\text{-}54, A$$

где

RMPNF — нормальное количество материалов в каналах снабжения (единицы);

RSF — усредненный темп поступления требований на завод (единицы в неделю);

DRMF — запаздывание поступления материалов на завод (недели).

Поскольку в данном примере нас не интересует влияние, которое окажет изменение величины запаздывания поставок материалов, то для отображения процесса получения материалов на склад, согласно отправленным заказам, можно достаточно уверенно воспользо-

ваться запаздыванием третьего порядка. Этот процесс описывается уравнением уровня, уравнением начальных условий и обозначением характера функции запаздывания:

$RMPAF.K=RMPAF.J+(DT)(RMPF.JK-RMRF.JK)$, 14-55, L

$RMPAF=(RRF)(DRMF)$, 14-56, N

$RMRF.KL=DELAY3(RMPF.JK, DRMF)$, 14-57, R

где

RMPAF — действительное количество материалов в каналах снабжения (единицы);

RMPF — закупки материалов (эквивалентные единицы в неделю);

RMRF — поступление материалов на завод (эквивалентные единицы в неделю);

RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю);

DRMF — запаздывание поставок материалов (недели);

DELAY3 — указание на уравнения запаздывания третьего порядка.

Среднее запаздывание поставок основных материалов *DRMF* в рассматриваемом примере принято равным 3 неделям.

14.4.5. Рабочая сила. Обеспечение рабочей силой, так же как и правила регулирования ее численности, оказывают значительное влияние на деятельность изучаемой системы. Следует напомнить, что наша цель заключается в исследовании взаимодействия между изменяющимся потоком входящих заказов покупателей и изменением темпа производства, который в свою очередь тесно связан с численностью рабочей силы.

Потоки рабочей силы и руководящие правила ее регулирования схематически представлены на рис. 14-11. Замкнутая схема системы рабочей силы состоит из ресурсов рабочей силы, решений о найме, периода начального обучения, уровня численности рабочих, которых можно привлечь к производству, решений об увольнении и сведений о численности рабочих, получивших уведомление об увольнении, но еще не оформивших свой расчет.

В приводимых ниже вспомогательных уравнениях нашли свое отражение некоторые положения, связанные с численностью рабочих, необходимых для обеспечения среднего уровня деловой активности, и той численностью, которая нужна для регулирования нежелательных колебаний уровня не начатых производством заказов.

Мы начнем с описания главного контура потока рабочей силы, содержащего запаздывание, обусловленное обучением рабочих:

$LTF.K=LTF.J+(DT)(LHF.JK-LEPF.JK)$, 14-58, L

$LTF=0$, 14-59, N

$LEPF.KL=DELAY3(LHF.JK, DLTF)$, 14-60, R

где

LTF — рабочие, обучающиеся на заводе (человек);

LHF — темп найма рабочих (человек в неделю);

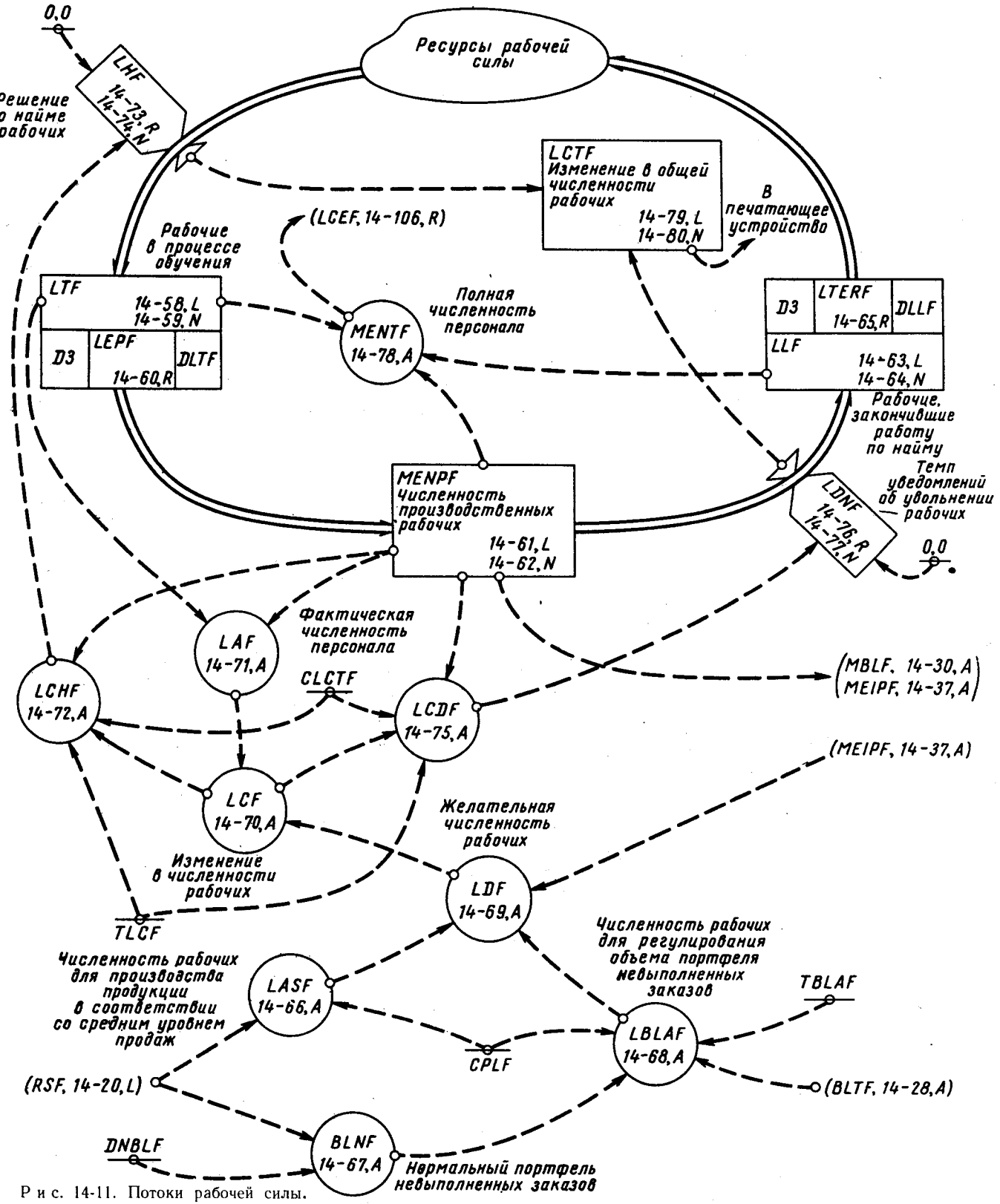
LEPF — рабочие, приступающие к работе (человек в неделю);

DELAY3 — указание на уравнения запаздывания третьего порядка;

DLTF — запаздывание обучения персонала на заводе (недели).

Уравнение 14-58 определяет уровень проходящего подготовку персонала. В установившихся исходных условиях, когда отсутствуют изменения уровня деловой активности, численность обучающегося персонала будет равна нулю (уравнение 14-59). Уравнение 14-60 описывает процесс подготовки рабочих. Здесь запаздывание отображает не только само время обучения рабочих, но и то время, когда они еще не способны в полной мере участвовать в процессе производства. Такой подход к вопросу позволяет четко разграничить период, в течение которого рабочие не участвуют в производстве, от периода, когда закончивший обучение персонал приступает к работе и производительность его труда постепенно достигает высшего уровня. Практически учащиеся могли бы участвовать в выпуске продукции вскоре после поступления на завод, но доля их дополнительного труда, прибавленная к труду имеющейся рабочей силы, сопровождалась бы некоторой перестройкой рабочего процесса, снижая производительность труда ранее работавшего персонала.

Запаздывание обучения персонала *DLTF* в наших расчетах принималось равным 3 неделям.



Р и с. 14-11. Потоки рабочей силы.

Число активных производственных рабочих определяется уравнением уровней:

$$MENPF.K=MENPF.J+(DT)(LEPF.JK-LDNF.JK), \quad 14\text{-}61, L$$

$$MENPF=\frac{RRF}{CPLF}, \quad 14\text{-}62, N$$

где

MENPF — производственный персонал на заводе (человек);
LEPF — рабочие, приступающие к работе (человек в неделю);
LDNF — темп уведомлений об увольнении рабочих (человек в неделю);
RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю);
CPLF — константа, производительность труда на заводе (единицы за человеко-неделю).

Начальный уровень производственной рабочей силы, как он определен уравнением 14-62, равен постоянному установившемуся уровню деловой активности, деленному на производительность труда одного рабочего.

Поток рабочей силы с закончившимся сроком найма определяется по уравнению, аналогичному уравнению для потока подготавливаемой к производству рабочей силы:

$$LLF.K=LLF.J+(DT)(LDNF.JK-LTERF.JK), \quad 14\text{-}63, L$$

$$LLF=0, \quad 14\text{-}64, N$$

$$LTERF.KL=DELAY3(LDNF.JK, DLLF), \quad 14\text{-}65, R$$

где

LLF — рабочие, увольняющиеся с завода (человек);
LDNF — темп уведомлений об увольнении рабочих (человек в неделю);
LTERF — рабочие, закончившие производственную работу на заводе (человек в неделю);
DELAY3 — указание на уравнения запаздывания третьего порядка;
DLLF — запаздывание в увольнении рабочих с завода (недели).

Уравнение 14-63 определяет численность рабочих, которые завершают свою работу на заводе. Уравнение 14-64 показывает, что это число равно нулю при установившихся и неизменяющихся производственных условиях. Уравнение 14-65 определяет темп ухода рабочих — *LTERF*, являющийся темпом получения рабочими расчета. Запаздывание в увольнении рабочих в данном случае равно периоду времени, в течение которого заработная плата должна еще начисляться, но рабочие уже не участвуют в производстве продукции. Это могло быть вызвано одним или обоими из следующих обстоятельств: оставшийся период найма должен быть оплачен (время, необходимое на расчет) или это период пониженной производительности, обусловленный уменьшением интенсивности работы и перемещениями в связи с уменьшением или изменением темпа производства.

В данном примере период запаздывания увольнения рабочих *DLLF* равен 4 неделям.

Теперь мы обратимся к рассмотрению некоторых положений, определяющих желательный уровень рабочей силы и темпы найма и увольнения рабочих. Начнем с определения уровня рабочей силы, который должен обеспечить выпуск продукции в соответствии со средним уровнем входящих заказов:

$$LASF.K=\frac{RSF.K}{CPLF} \quad 14\text{-}66, A$$

где

LASF — численность рабочих для обеспечения среднего темпа продаж на предприятии (человек);
RSF — усредненный темп поступления требований (единицы в неделю);
CPLF — константа, производительность труда на заводе (единиц за человеко-неделю).

В уравнении 14-66 мы делим средний уровень входящих требований на величину производительности труда с тем, чтобы определить численность производственного персонала, необходимого для удовлетворения усредненного темпа входящих заказов.

Следующим вопросом является рассмотрение условий, определяющих объем портфеля заказов на предприятии. Необходимо четко определить нормальное количество невыполненных заказов (нормальный объем портфеля заказов). Чрезмерно большой портфель заказов нежелателен по соображениям конкуренции и обслуживания покупателей. Слишком маленький портфель означает, что производственный процесс катастрофически сокращается в связи с отсутствием заказов, по которым возможно продолжение работ. Во многих ситуациях, аналогичных рассматриваемой, целесообразно оценивать портфель заказов величиной, показы-

вающей, как долго эти заказы могут обеспечить производство:

$$BLNF.K=(RSF.K)(DNBLF), \qquad 14\text{-}67, A$$

где

BLNF — нормальный портфель заказов на заводе (единицы);

RSF — усредненный темп поступления требований (единицы в неделю);

DNBLF — запаздывание в нормальном портфеле заказов на заводе (недели).

В нашем примере нормальная величина портфеля заказов *DNBLF* принята равной 4 неделям.

Поскольку действительный портфель заказов часто будет отличаться от нормального, желательного портфеля, мы должны определить количество рабочей силы, которое было бы необходимым для регулирования в определенном темпе объема портфеля заказов до желаемого уровня:

$$LBLAF.K=\frac{BLTF.K-BLNF.K}{(CPLF)(TBLAF)}, \qquad 14\text{-}68, A$$

где

LBLAF — численность рабочих для регулирования невыполненных заказов на заводе (человек);

BLTF — общий портфель невыполненных заказов на заводе (единицы);

BLNF — нормальный портфель невыполненных заказов на заводе (единицы);

CPLF — константа, производительность труда на заводе (единицы за человеко-неделю);

TBLAF — время регулирования объема невыполненных заказов на заводе (недели).

В уравнении 14-68 числитель определяет разность между общим портфелем невыполненных заказов на заводе и тем портфелем, который мог бы считаться нормальным. Если величину полученной разности разделить на значение производительности труда *CPLF*, то мы определим затраты труда в человеко-неделях, которые необходимо произвести, чтобы отрегулировать объем невыполненных заказов до его нормального уровня. Эта величина должна быть разделена далее на период времени, в течение которого необходимо завершить регулирование объема невыполненных заказов с тем, чтобы определить число рабочих, которых необходимо привлечь к работе с этой целью. Период регулирования *TBLAF* (который более правильно было бы назвать постоянной времени регулирования, так как он определяет темп, с которым следует регулировать *остающийся* дефицит в портфеле заказов) мы принимаем равным 20 неделям. Эта величина может показаться чрезмерно большой, однако в действительности она соответствует достаточно высокой скорости регулирования. Предположим, например, что имеющийся портфель заказов был в два раза больше нормального, то есть он обеспечивал работу в течение 8 недель. Такое превышение не является каким-либо исключительным случаем для большинства предприятий. Следовательно, превышение объема заказов в портфеле составляло 4 недели. Если это превышение объема заказов должно было быть откорректировано в течение 20 недель, то это означает соответствующее сокращение дефицита производительных сил, равное одной пятой от необходимых для выпуска продукции в рамках, обусловленных текущим уровнем продаж. Другими словами, двухкратный по отношению к нормальному портфель заказов вызывает 20-процентное увеличение темпов производства по отношению к необходимому, обусловленному существующим уровнем продаж. Такая скорость регулирования портфеля заказов вполне вероятна и достаточно велика.

Теперь мы располагаем всеми необходимыми данными для вычисления желательного уровня рабочей силы на предприятии, который складывается из рабочей силы, необходимой для производства продукции в соответствии со средним темпом продаж, и рабочей силы, необходимой для регулирования объема портфеля заказов (ее количество может быть либо положительным, либо отрицательным); из полученного таким образом уровня необходимо исключить рабочих, которые заняты производством продукции для увеличения запасов сверх заказанного количества.

$$LDF.K=LASF.K+LBLAF.K-MEIPF.K, \qquad 14\text{-}69, A$$

где

LDF — желательная численность рабочих на заводе (человек);

LASF — численность рабочих для обеспечения среднего темпа продаж (человек);

LBLAF — численность рабочих для регулирования объема невыполненных заказов на заводе (человек);

MEIPF — численность рабочих, производящих продукцию в избыточный запас (человек).

Разность между желательным и действительным уровнями рабочей силы определит избыток или дефицит в существующем уровне производственной рабочей силы:

$$LCF.K=LDF.K—LAF.K, \qquad 14\text{-}70, A$$

где

LCF — несоответствие желательной и фактической численности рабочих на заводе (человек);

LDF — желательная численность рабочих на заводе (человек);

LAF — действительная численность рабочих на заводе (человек).

Для решения уравнения 14-70 необходимо вначале определить существующий в данный момент уровень рабочей силы на заводе. Поскольку численность рабочих в ближайшем будущем будет определяться как теми, кто работает в данный момент, так и теми, кто завершает обучение, можно записать:

$$LAF.K=LTF.K+MENPF.K, \qquad 14\text{-}71, A$$

где

LAF — действительная численность рабочих на заводе (человек);

LTF — рабочие, обучающиеся на заводе (человек);

$MENPF$ — численность производственных рабочих на заводе (человек).

Уравнение 14-70 определяет несоответствие уровней рабочей силы. Если это несоответствие положительно, то необходимо нанять определенное число рабочих, если отрицательно, то сократить. При анализе необходимо дополнительно учесть, как быстро выявленное несоответствие должно быть устранено. Кроме того, мы хотим учесть еще один фактор при принятии решения о найме и увольнении рабочих. Некоторые руководители могут придерживаться правила не принимать каких-либо решений об изменении численности рабочих до тех пор, пока величина несоответствия не достигнет некоторого определенного процента (например, 2, или 5, или 10%) от численности рабочих. Когда же численность рабочих будет отличаться от желательной на величину, большую принятого допустимого максимального (критического) отклонения, то будет произведен либо наем, либо увольнение рабочих с тем, чтобы численность рабочих находилась в заданных пределах. Поскольку в дальнейшем мы будем изучать влияние величины критического отклонения на динамику системы, сейчас следует ввести некоторые понятия и дополнительные члены в уравнения. При принятии решений о найме рабочих критическое отклонение численности рабочих и темп, в котором устраняется существующее несоответствие в уровне рабочей силы, отображаются следующим уравнением:

$$LCHF.K=\frac{1}{TLCF}\times$$
$$\times[LCF.K—(CLCTF)(MENPF.K)], \qquad 14\text{-}72, A$$

где

$LCHF$ — измененный темп найма рабочих (человек в неделю);

$TLCF$ — время изменения численности рабочих (недели);

LCF — несоответствие желательной и фактической численности рабочих на заводе (человек);

$CLCTF$ — константа, критическая величина несоответствия уровней рабочей силы на заводе, как часть общей численности производственных рабочих (безразмерная величина);

$MENPF$ — производственный персонал на заводе (человек).

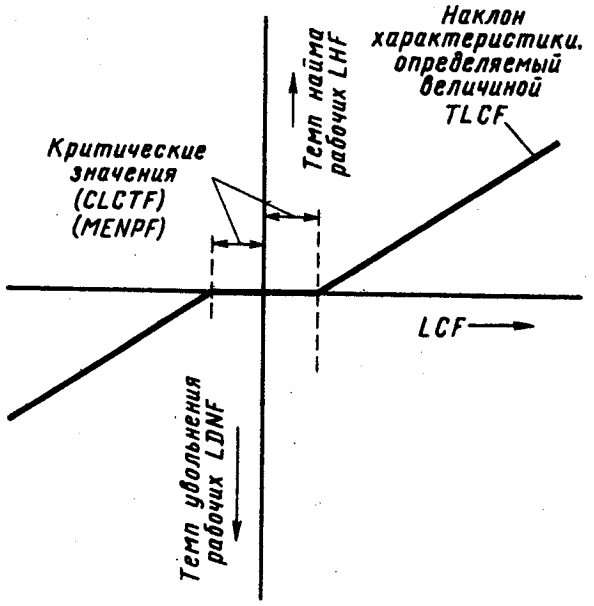
При принятии решений о найме или увольнении рабочих критическое значение несоответствия определяется в уравнении 14-72 как произведение величины $CLCTF$ на общую численность рабочей силы $MENPF$ в данный период времени. Решение о найме рабочих будет приниматься только в том случае, если несоответствие численности рабочих $LCHF$ станет больше, чем его критическое значение, то есть при условии, что выражение в скобках станет положительным.

В уравнении 14-72 желаемое изменение уровня рабочей силы делится на значение постоянной времени $TLCF$, которая характеризует темп изменения уровня рабочей силы. В нашем примере величина $TLCF$ принята равной 10 неделям.

Поскольку при решении о найме рабочих критическая величина несоответствия $CLCTF$ не должна обязательно приниматься во внимание, ее нормальное значение можно принять равным нулю.

Отличные от нулевого значения величины $CLCTF$ мы будем принимать только в тех случаях, когда будет изучаться ее влияние на систему. Обратная величина постоянной времени $TLCF$ в уравнении 14-72 определяет долю, на которую изменяется величина несоответствия

уровней рабочей силы в течение недели. Эта величина здесь используется для рассмотрения ряда практических вопросов. Прежде чем руководитель предприятия будет располагать данными о действительной величине несоответствия фактического и желательного числа рабочих, пройдет определенное время. Кроме того, возможны некоторые дополнительные запаздывания принятия решений, обусловленные надеждой на то, что можно обойтись без каких бы то ни было изменений числа рабочих. Если



Р и с. 14-12. Зависимость темпов найма и увольнения рабочих от величины несоответствия уровней рабочей силы.

принято решение о найме рабочих, то необходимо некоторое время для подбора рабочих. Если решение касается увольнения рабочих с производства, то следует произвести ряд перемещений и осуществить некоторые мероприятия, определяемые правилами нормального освобождения от работы в связи с сокращением производства. Только что упомянутый интервал времени в 10 недель, по-видимому, является наиболее коротким запаздыванием, которое с учетом сказанного может иметь место в процессе производства.

Характер зависимости темпов найма и увольнения рабочих от избытка или недостатка в рабочей силе *LCF* представлен на рис. 14-12. В том случае, когда не существует «бездеятельного» критического значения несоответствия, кривая будет проходить через начало координат.

Поскольку решение о найме принимается только в случае положительных значений, получаемых при решении уравнения 14-72, то

$$LHF.KL = \begin{cases} LCHF.K, \text{ если} \\ LCHF.K \geqslant 0 \\ 0{,}0, \text{ если } LCHF.K < 0, \end{cases} \quad 14\text{-}73, R$$

$$LHF = 0 \quad 14\text{-}74, N$$

где

LHF — темп найма рабочих (человек в неделю);
LCHF — измененный темп найма рабочих (человек в неделю).

Темп сокращения рабочей силы определяется аналогичным образом, за исключением того, что критическое значение несоответствия вводится с положительным знаком, чтобы получить положительное значение величины темпа увольнения рабочих, если численность рабочей силы чрезмерно велика:

$$LCDF.K = \frac{1}{TLCF} \times$$

$$\times [LCF.K + (CLCTF)(MENPF.K)], \quad 14\text{-}75, A$$

$$LDNF.KL = \begin{cases} 0{,}0, \text{ если } LCDF.K \geqslant 0 \\ -LCDF.K, \text{ если} \\ LCDF.K < 0 \end{cases} \quad 14\text{-}76, R$$

$$LDNF = 0 \quad 14\text{-}77, N$$

где

LCDF — измененный темп увольнения рабочих (человек в неделю);
TLCF — время изменения численности рабочих (недели);
LCF — несоответствие желательной и фактической численности рабочих на заводе (человек);
CLCTF — константа, критическая величина несоответствия в уровне рабочей силы на заводе, как часть общей численности производственных рабочих (безразмерная величина);
MENPF — производственный персонал на заводе (человек);
LDNF — темп уведомлений об увольнении рабочих (человек в неделю).

Для расчетов потоков денежных средств нам необходимо знать общую численность рабочих на заводе:

$$MENTF.K=LTF.K+MENPF.K+LLF.K, \qquad 14\text{-}78,\ A$$

где

MENTF — общая численность персонала на заводе (человек);
LTF — рабочие в период обучения на заводе (человек);
MENPF — численность производственных рабочих на заводе (человек);
LLF — рабочие, увольняющиеся с завода (человек).

При сравнении результатов ряда проигрываний на модели при различных правилах управления производством весьма полезной может оказаться информация об имеющих место общих изменениях численности рабочих, характеризующих текучесть рабочей силы. Эти изменения могут быть взяты как сумма всех наймов и увольнений и определены нижеследующим уравнением уровней:

$$LCTF.K=LCTF.J+(DT)(LHF.JK+ +LDNF.JK), \qquad 14\text{-}79,\ L$$

$$LCTF=0, \qquad 14\text{-}80,\ N$$

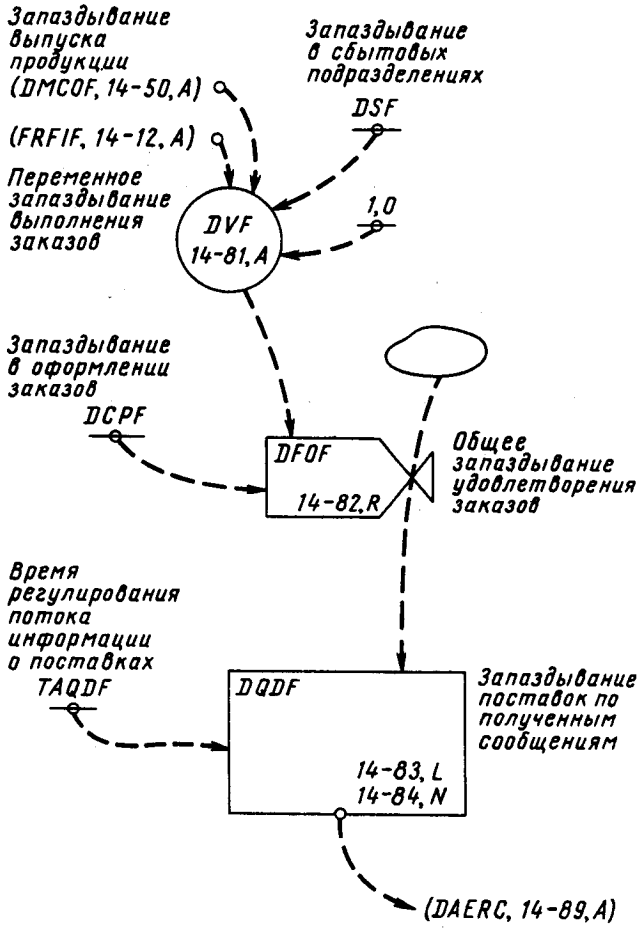
где

LCTF — общее изменение числа рабочих на заводе (человек);
LHF — темп найма рабочих (человек в неделю);
LDNF — темп уведомлений об увольнении рабочих (человек в неделю).

Уравнение 14-79 не фигурирует в правилах управления системой, а лишь подводит итог, суммируя общее число принятых и уволенных рабочих в течение всего времени проигрывания модели от начала до окончания ее работы. Эта величина могла бы рассматриваться как показатель достигнутой степени стабильности в исследуемой системе.

Такие дополнительные подробности, как сверхурочная работа и изменения в продолжительности рабочей недели, были нами опущены. Если в повседневной деятельности изменение продолжительности рабочей недели с целью регулирования темпа производства является нормальным, то в руководящие правила следует включить изменение числа рабочих часов аналогично тому, как мы это делали, рассматривая изменения численности рабочих.

14.4.6. Сведения о запаздываниях поставок. Одной из наиболее важных величин, определяющих взаимосвязь завода с покупателями, является запаздывание поставок, которое предвидит покупатель при размещении своих заказов. Следовательно, возникновение этого запаздывания на заводе и передача сведений о нем покупателю весьма существенны для изучаемой системы. На рис. 14-13 представлена диаграмма потоков сведений о запаздывании поставок, построенная с использованием переменных, приведенных выше, на рис. 14-6 и рис. 14-9.



Р и с. 14-13. Сведения о запаздываниях поставок.

Все входящие заказы задерживаются (рис. 14-6) в подразделениях, где они проверяются и распределяются по группам заказов, удовлетворяемых либо за счет запасов, либо за счет производства в соответствии со спецификацией покупателей. После этого заказы, удовлетворяемые за счет запасов, испытывают постоянное среднее запаздывание, в то время как заказы, удовлетворяемые производством, претерпевают переменное запаздывание, зависящее от объема не начатых производством заказов. Запаздыв-

вание, проявляющееся после поступления заказов в ячейку *RCF* на рис. 14-6, определяется двумя составляющими:

$$DVF.K=(FRFIF.K)(DSF)+(1-FRFIF.K)\times \times(DMCOF.K) \qquad 14\text{-}81,\ A,$$

где

DVF — переменное запаздывание поставок с завода (недели);

FRFIF — часть общего числа требований, которая удовлетворяется за счет запасов (безразмерная величина);

DSF — запаздывание отгрузки продукции заводом (недели);

DMCOF — запаздывание (переменное) выпуска продукции заводом по требованиям покупателей (недели).

В уравнении 14-81 та часть заказов, которая удовлетворяется из запасов, умножается на величину запаздывания отгрузки, а оставшаяся часть заказов, удовлетворяемая за счет производства, умножается на величину запаздывания, которое эти заказы испытывают при своем продвижении по заводу. Сумма этих двух составляющих определяет среднее запаздывание, которое испытывает поток входящих заказов после своего разделения на два канала.

В дополнение к среднему значению запаздывания в этих двух каналах потоков все заказы испытывают запаздывание *DCPF* (рис. 14-6), определяемое тем временем, в течение которого они распределяются между каналом производства и каналом запасов. Запаздывание *DCPF* должно быть добавлено к переменному запаздыванию, определяемому уравнением 14-81; это сделано в приводимом ниже уравнении темпов, которое управляет главным потоком сведений о запаздывании выполнения заказов на заводе:

$$DFOF.KL=DCPF+DVF.K, \qquad 14\text{-}82,\ R$$

где

DFOF — запаздывание (переменное) выполнения заказов на заводе (недели);

DCPF — запаздывание оформления требований на заводе (недели);

DVF — запаздывание (переменное) поставок продукции с завода (недели).

Уравнение 14-82 определяет существующее в данный момент запаздывание поставок. Этими данными не обязательно располагают сбытовые подразделения; они не предназначаются для передачи покупателю. Осведомленность об увеличенных производственных портфелях заказов не сразу распространяется по всей организации. На многих предприятиях суждения о запаздываниях поставок основываются на *располагаемых* данных о запаздываниях выполнения заказов, по которым поставки *уже произведены*, а не на *ожидаемых в будущем* запаздываниях, которые зависят от располагаемого портфеля заказов и существующего темпа производства. Информация о запаздывании, определяемом уравнением 14-82, будет передана покупателям с определенным запаздыванием; поэтому она будет отставать от тех действительных, мгновенных значений запаздываний, которые имеют место в данный момент времени. Следующее уравнение усредняет поток информации о запаздываниях поставок:

$$DQDF.K=DQDF.J+\frac{DT}{TAQDF}\times \times(DFOF.JK-DQDF.J), \qquad 14\text{-}83,\ L$$

$$DQDF=DCPF+(CNFIF)(DSF)+(1-CNFIF)\times \times(DPF+DNBLF), \qquad 17\text{-}84,\ N$$

где

DQDF — запаздывание (переменное) поставок по полученным сообщениям (недели);

TAQDF — время регулирования потока информации о поставках (недели);

DFOF — запаздывание (переменное) выполнения заказов на заводе (недели);

DCPF — запаздывание оформления заказов на заводе (недели);

CNFIF — константа, нормальная часть общего числа требований, которая удовлетворяется за счет запасов (безразмерная величина);

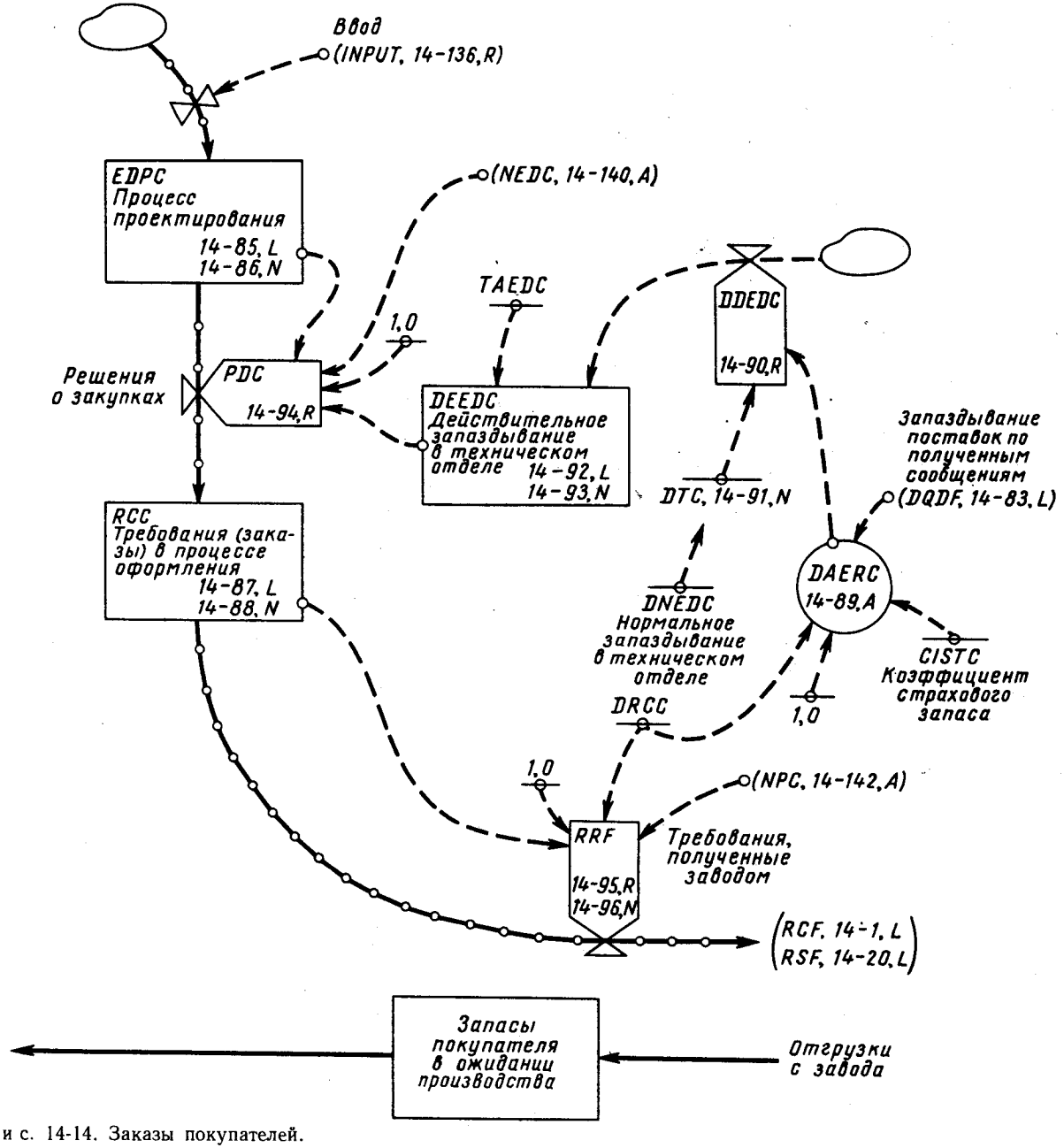
DSF — запаздывание отгрузки продукции на заводе (недели);

DPF — производственное запаздывание на заводе (недели);

DNBLF — запаздывание в нормальном портфеле заказов на заводе (недели).

Время запаздывания *TAQDF* определяет темп, с которым запаздывание поставок *DQDF*, по полученным сведениям, приближается к действительно существующей величине запаздывания поставок *DFOF*. В нашем примере мы приняли величину *TAQDF* равной 4 неделям.

Уравнение начальных условий 14-84 получено на основании уравнений 14-81 и 14-82, в которых величина *FRFIF* была заменена ее нормальным значением *CNFIF* из уравнения 14-7, а производственное запаздывание *DMCOF*



Р и с. 14-14. Заказы покупателей.

было принято равным его значению при установившихся условиях.

14.4.7. Заказы покупателей. Диаграмма потоков, отображающих процесс формирования заказов покупателей, представлена на рис. 14-14. Независимый ввод *INPUT* отображает поток заказов на оборудование, которые получают предприятия, являющиеся покупателями деталей. В зависимости от исследуемых характеристик системы этот ввод может считаться либо постоянным, либо переменным. Вторым внешним вводом является запаздывание поставок, вытекающее из диаграммы на рис. 14-13. В рассматриваемом звене отображены технический отдел, который выдает спецификации на приобретаемые детали, и отдел снабжения, осуществляющий закупки этих деталей. Деятельность технического отдела отображается урав-

нением уровня, связывающим поток входящих заказов и исходящий поток спецификаций на приобретение деталей:

$$EDPC.K=EDPC.J+(DT)(INPUT.JK-PDC.JK), \quad 14\text{-}85, L$$

$$EDPC=(INPUT)(DEEDC), \quad 14\text{-}86, N$$

где

EDPC — изделия в стадии проектирования у покупателя (единицы);

INPUT — поступление внешних заказов покупателю (эквивалентные единицы в неделю);

PDC — решение покупателя о закупке деталей (единицы в неделю);

DEEDC — действительное запаздывание (переменное) в техническом отделе покупателя (недели).

Установившееся значение уровня изделий, находящихся в стадии проектирования, дается уравнением 14-86 как произведение установившегося потока входящих заказов и начальной величины запаздывания в техническом отделе.

Следующее уравнение уровня определяет число требований *RCC*, находящихся в процессе оформления в отделах снабжения:

$$RCC.K=RCC.J+(DT)(PDC.JK-RRF.JK), \quad 14\text{-}87, L$$

$$RCC=(INPUT)(DRCC), \quad 14\text{-}88, N$$

где

RCC — требования в процессе оформления у покупателя (единицы);

PDC — решение покупателя о закупке деталей (единицы в неделю);

RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю);

INPUT — поступление внешних заказов покупателю (эквивалентные единицы в неделю);

DRCC — среднее запаздывание в оформлении требований у покупателя (недели).

Установившееся значение уровня требований в уравнении 14-88 определяется как произведение начального темпа входящего потока на среднее запаздывание оформления заказов на закупки *DRCC*.

Технические отделы покупателя будут чувствительны к запаздываниям в обеспечении деталями как к одному из факторов, определяющих срок выдачи заказных спецификаций отделам снабжения. Это запаздывание между выдачей спецификаций и временем, когда заказанные детали будут использованы в производимом оборудовании, состоит из трех составляющих. Первой является запаздывание размещения заказов отделами снабжения покупателя. Предполагается, что эта составляющая в среднем постоянна. Вторая составляющая общего запаздывания определяется временем, которое в среднем необходимо для выполнения заказов фирмой, изготовляющей детали. Оно представляет собой запаздывание поставок *DQDF* по данным имеющейся информации. Третья составляющая запаздывания определяется продолжительностью пребывания деталей на складах у покупателя в ожидании их установки в производимом оборудовании. Нас в первую очередь будет интересовать переменная величина продолжительности нахождения деталей на складе у покупателя, поскольку от нее зависит изменяющийся запас деталей, величина которого может оказать влияние на темп выдачи заказов покупателем. Целесообразно предположить, что покупатель будет страховать себя, создавая запасы, соответствующие тому времени, которое, как он считает, необходимо для выполнения поставок деталей. В этом случае по мере увеличения запаздывания поставок будет соответственно увеличиваться период нахождения деталей на складе, по крайней мере до некоторых определенных пределов. Здесь постоянная *CISTC* связывает запаздывание поставок деталей с переменной частью периода нахождения их в запасе у покупателя. Полное время от момента составления спецификации до момента монтажа деталей в выпускаемом оборудовании может быть представлено в следующем виде:

$$DAERC.K=DRCC+(1+CISTC)(DQDF.K), \quad 14\text{-}89, A$$

где

DAERC — запаздывание (переменное) поставок от момента составления спецификации (недели);

DRCC — среднее запаздывание оформления требований покупателем (недели);

CISTC — коэффициент страхового запаса покупателя, как часть запаздывания поставок (безразмерная величина);

DQDF — запаздывание (переменное) поставок по поступившим сведениям на заводе (недели).

В нашем примере принята величина $CISTC=0{,}5$; это означает, что продолжительность на-

хождения деталей в запасе у покупателя будет возрастать или уменьшаться на половину того действительного изменения, которое будет претерпевать запаздывание поставок деталей.

Как отмечалось выше, покупатель стремится заказать наиболее дефицитные детали с возможно большим опережением. Это означает, что в техническом отделе покупателя необходимо выявить наиболее дефицитные детали и спецификацию на них передать в отделы снабжения не позднее определенного времени, чтобы не нарушить сроки поставок готового оборудования из-за задержек в поставках деталей. Покупатель в первую очередь попытается ускорить составление заявок в техническом отделе на необходимые детали с тем, чтобы заказать их настолько раньше, насколько это необходимо. Другими словами, сумма нормального запаздывания в техническом отделе и среднего времени поставок управляет действиями покупателя, когда он устанавливает сроки собственных поставок. Запаздывание, определяемое при получении каждой детали, позволяет установить сроки, в которые покупатель должен сделать заказ. Допустимое время, в течение которого могут составляться заказы в техническом отделе покупателя, мы можем теперь определить как полное время, которым располагает покупатель, считая от момента получения им входящего заказа до даты поставки готового оборудования по этому заказу за вычетом времени, необходимого для поставки комплектующих деталей:

$$DDEDC.KL = DTC - DAERC.K, \qquad 14\text{-}90,\ R$$

где

$DDEDC$ — желательное запаздывание (переменное) в техническом отделе покупателя (недели);

DTC — полное запаздывание у покупателя (недели);

$DAERC$ — запаздывание (переменное) поставок от момента составления спецификации у покупателя (недели).

Нормальная продолжительность выполнения заказа на оборудование покупателем деталей DTC может быть определена приближенно (без учета периода испытаний и наладки оборудования) следующим образом:

$$DTC = DNEDC + DRCC + (1 + CISTC)(DQDF), \qquad 14\text{-}91,\ N$$

где

DTC — полное запаздывание у покупателя (недели);

$DNEDC$ — нормальное запаздывание в техническом отделе покупателя (недели);

$DRCC$ — среднее запаздывание в оформлении требований у покупателя (недели);

$CISTC$ — коэффициент страхового запаса деталей у покупателя (безразмерная величина);

$DQDF$ — запаздывание (переменное) поставок по сообщениям на заводе (недели).

Нормальное запаздывание в техническом отделе покупателя $DNEDC$, необходимое для выполнения проекта, принималось в нашем примере равным 30 неделям.

Уравнение 14-90 определяет желаемое время, которым располагает технический отдел покупателя для выполнения проекта до момента передачи заявок в отделы снабжения. Однако сроки выполнения проектных работ невозможно изменять мгновенно при получении информации об изменениях сроков поставки деталей. Эти изменения в нашем примере будут учитываться следующим образом:

$$DEEDC.K = DEEDC.J + \frac{DT}{TAEDC} \times \times (DDEDC.JK - DEEDC.J), \qquad 14\text{-}92,\ L$$

$$DEEDC = DTC - (1 + CISTC)(DQDF) - DRCC, \qquad 14\text{-}93,\ N$$

где

$DEEDC$ — действительное запаздывание (переменное) в техническом отделе покупателя (недели);

$TAEDC$ — время регулирования запаздывания в техническом отделе покупателя (недели);

$DDEDC$ — желательное запаздывание (переменное) в техническом отделе покупателя (недели);

DTC — полное запаздывание у покупателя (недели);

$CISTC$ — коэффициент страхового запаса деталей у покупателя;

$DQDF$ — запаздывание (переменное) поставок по поступившим сведениям (недели);

$DRCC$ — среднее запаздывание оформления требований у покупателя (недели).

Величина $TAEDC$ принята равной 15 неделям. Уравнение 14-92 является показательным уравнением усреднения первого порядка, ис-

пользуемым здесь для того, чтобы задержать распространение информации об изменениях величины *DDEDC*, прежде чем она начнет проявляться в управлении деятельностью технических отделов в форме *DEEDC*. Обратная величина постоянной времени *TAEDC* определяет долю разности между желательным и действительным запаздываниями, на которую осуществляется регулирование величины запаздывания в течение каждой недели. Например, если величина *DEEDC* раньше была равна 30 неделям, а в данный момент *DDEDC* составляет 25 недель, то разность между этими значениями, равная 5 неделям, делится на значения постоянной времени *TAEDC*, равное 15 неделям, что указывает на необходимость сокращать общий срок выполнения работ в техническом отделе на одну треть недели, производя такое сокращение каждую неделю.

Переменное запаздывание, определенное в уравнении 14-92, можно теперь использовать для управления величиной еженедельного числа заказов, составляемых в техническом отделе покупателя и направляемых на реализацию в отделы снабжения:

$$PDC.KL = \frac{EDPC.K}{DEEDC.K}(1 + NEDC.K), \quad 14\text{-}94, \ R$$

где

PDC — решения покупателя о закупках (единицы в неделю);
EDPC — изделия в стадии проектирования у покупателя (единицы);
DEEDC — действительное запаздывание (переменное) в техническом отделе покупателя (недели);
NEDC — шум (помехи) в исходящем из технического отдела потоке (безразмерная величина).

Решения покупателей о закупках определяются главным образом отношением числа изделий, находящихся в стадии проектирования, к величине запаздывания в техническом отделе, которое определяет темп исходящего потока заказов в зависимости от объема проектных работ и времени, необходимого для их выполнения. Выражение в скобках позволяет учесть помехи, что необходимо при анализе чувствительности системы к возможным отклонениям и случайным и ошибочным решениям на поставки, принятым в технических подразделениях. В реальных условиях сигнал шума может возникнуть из-за переплетающихся заказов на детали для большого и сложного проекта вследствие изменяющихся экономических условий, изменений в финансировании на военные нужды, изменений военных контрактов и других факторов, которые могут заставить покупателя ускорить или отложить принятие решений на приобретение деталей. Сигнал шума *NEDC* будет определен позднее, при рассмотрении тестов — входных функций для проверки работы модели.

Подобным же образом темп исходящих из отдела снабжения заказов будет определен как фиксированная часть заказов, находящихся в процессе оформления:

$$RRF.KL = \frac{RCC.K}{DRCC}(1 + NPC.K), \quad 14\text{-}95, \ R$$

$$RRF = INPUT, \quad 14\text{-}96, \ N$$

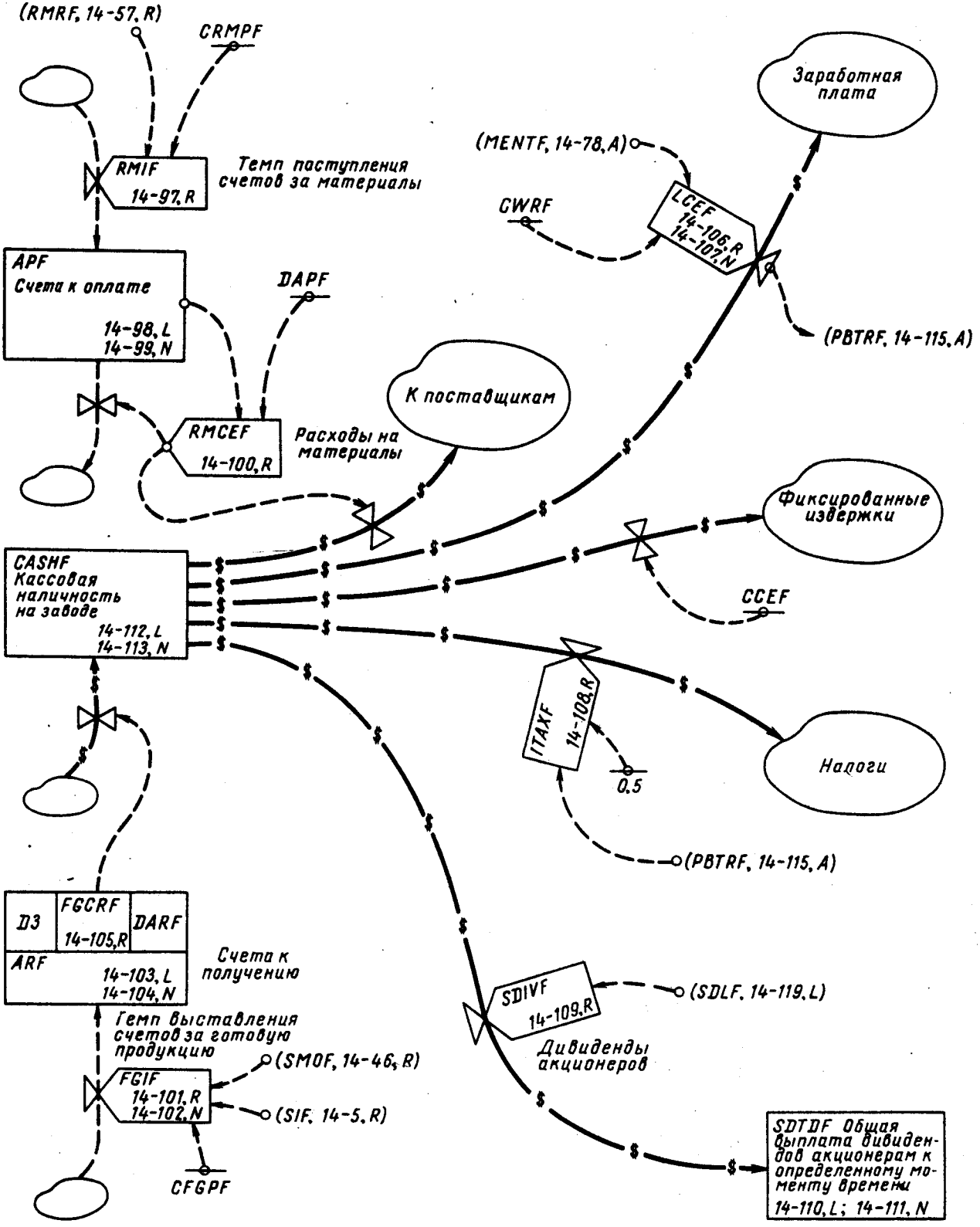
где

RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю);
RCC — требования в процессе оформления у покупателя (единицы);
DRCC — среднее запаздывание оформления требований у покупателя (недели);
NPC — шум в исходящем потоке заказов на закупки покупателя (безразмерная величина);
INPUT — поступление внешних заказов покупателю (эквивалентные единицы в неделю).

Среднее запаздывание размещения заказов на закупки деталей *DRCC* в нашем примере составляет 3 недели.

14.4.8. Потоки денежных средств. Диаграмма потоков денежных средств представлена на рис. 14-15. Согласно ранее сказанному, эти потоки мы используем лишь для оценки работы системы в оставшейся части модели. Предполагается, что состояние кассовой наличности, темпы изменения и размеры денежных потоков не оказывают сколько-нибудь существенного влияния на принимаемые в системе решения. Однако можно ожидать, что различные руководящие правила будут влиять на уровень получаемой прибыли и сказываться на величине колебаний кассовой наличности. Рассмотрение потоков денежных средств имеет целью установить это влияние и показать, каким образом финансовые аспекты работы системы могут быть введены и исследованы в динамической модели.

Следующие уравнения определяют темп поступления счетов за материалы, уровень



Р и с. 14-15. Потоки денежных средств.

счетов к оплате и темп расходов на закупку материалов:

$$RMIF.KL=(RMRF.JK)(CRMPF), \quad 14\text{-}97,R$$

$$APF.K=APF.J+(DT)(RMIF.JK-$$
$$-RMCEF.JK), \quad 14\text{-}98, L$$

$$APF=(RRF)(CRMPF)(DAPF), \quad 14\text{-}99, N$$

$$RMCEF.KL=\frac{APF.K}{DAPF}, \quad 14\text{-}100, R$$

где

RMIF — темп поступления счетов за материалы на завод (долл. в неделю);
RMRF — материалы, полученные заводом (эквивалентные единицы в неделю);
CRMPF — константа, цена материалов (долл. на единицу);
APF — счета к оплате на заводе (долл.);
RMCEF — расходы на приобретение материалов (долл. в неделю);
RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю);
DAPF — запаздывание оплаты счетов заводом (недели).

Уравнение 14-97 определяет темп поступления счетов за материалы, как произведение темпа получения материалов заводом на стоимость материалов, необходимых для выпуска единицы продукции. В рассматриваемом примере цены приняты, исходя из соображений удобства выполнения расчетов, они не отображают реальных цен, существовавших в изучаемой системе. Стоимость расходуемых на единицу продукции материалов *CRMPF* принята равной 20 долларам.

Уравнение 14-98 является обычным уравнением уровней, накапливающим разность между полученными и оплаченными счетами. Уравнение 14-99 определяет начальную установившуюся величину счетов к оплате как произведение трех величин: темпа продаж, стоимости материалов на единицу продукции и среднего времени запаздывания в оплате счетов. Уравнение 14-100 определяет темп платежей за материалы как определенную часть имеющегося числа счетов к оплате. Среднее значение интервала между получением и оплатой счета *DAPF* принято равным 3 неделям.

Денежные средства, получаемые за проданные товары, будут представлены в несколько отличной, хотя и эквивалентной по существу форме, с тем чтобы продемонстрировать альтернативный пример решения подобного рода задачи. Здесь счета за готовые изделия будут претерпевать у покупателя запаздывание третьего порядка, прежде чем они преобразуются в поток поступающих на завод денежных средств:

$$FGIF.KL=(SIF.JK+SMOF.JK)(CFGPF), \quad 14\text{-}101, R$$

$$FGIF=(RRF)(CFGPF), \quad 14\text{-}102, N$$

$$ARF.K=ARF.J+(DT)(FGIF.K-FGCRF.JK), \quad 14\text{-}103, L$$

$$ARF=(RRF)(CFGPF)(DARF), \quad 14\text{-}104, N$$

$$FGCRF.KL=DELAY3(FGIF.JK, DARF), \quad 14\text{-}105, R$$

где

FGIF — темп выставления заводом счетов за готовые изделия (долл. в неделю);
SIF — отгрузка продукции из запасов завода (единицы в неделю);
SMOF — темп отгрузки продукции, изготовленной по заказам покупателей (единицы в неделю);
CFGPF — константа, цена готового изделия на заводе (долл. за единицу);
RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю);
ARF — счета к получению на заводе (долл.);
FGCRF — темп поступления средств за готовую продукцию в кассу завода (долл. в неделю);
DARF — запаздывание оплаты покупателем счетов завода (недели);
DELAY3 — указание на уравнения запаздывания третьего порядка.

В уравнении 14-101 величина суммарной отгрузки изделий покупателям умножается на цену единицы изделия *CFGPF*, которая в нашем примере принята равной 100 долл.

Уравнение 14-102 определяет начальное значение темпа выставления счетов как произведение величины темпа всех продаж на цену одного изделия. Уравнение 14-103 определяет уровень счетов к оплате; практически эта переменная не используется в модели где-либо еще; поэтому в том случае, когда отсутствует необходимость получения информации об этой величине, уравнение 14-103 можно исключить из рассмотрения. Уравнение 14-104 является уравнением начальных условий оно определяет уровень счетов к получению. Эта величина исчисляется как произведение темпа продаж, цены одного изделия и среднего запаздывания оплаты счетов. Уравнение 14-105 определяет сумму всех запаздываний в цепи оплаты счетов покупателем. Оно включает запаздыва-

ние оформления счетов, почтовое запаздывание пересылки счетов, время, необходимое покупателю для осуществления платежа, и время, необходимое на получение денег по чеку и их инкассацию. Это полное время запаздывания $DARF$ принято равным 5 неделям.

Следующее уравнение определяет поток денежных средств на выплату заработной платы:

$$LCEF.KL=(MENTF.K)(CWRF), \quad 14\text{-}106, R$$
$$LCEF=(MENPF)(CWRF), \quad 14\text{-}107, N$$

где

$LCEF$ — расходы по заработной плате на заводе (долл. в неделю);
$MENTF$ — общая численность персонала на заводе (человек);
$CWRF$ — константа, средняя недельная заработная плата (долл. за человеко-неделю);
$MENPF$ — численность производственного персонала на заводе (человек).

Уравнение 14-106 определяет темп расходов по заработной плате как произведение полной численности всего персонала на среднюю заработную плату за неделю. Сверхурочные и другие формы изменения производительности не были включены в модель. В качестве примера и для согласования расчетов мы произвольно выбрали величину заработной платы одного рабочего $CWRF$ равной 80 долл. в неделю. Начальная величина темпа заработной платы, определяемая уравнением 14-107, потребуется ниже в уравнении 14-115.

Основные положения о налогах и дивидендах будут изложены в следующем параграфе. Уравнения потоков денежных средств по этим статьям расходов могут быть записаны в следующем виде:

$$ITAXF.KL=(0,5)(PBTRF.K), \quad 14\text{-}108, R$$
$$SDIVF.KL=SDLF.K, \quad 14\text{-}109, R$$

где

$ITAXF$ — подоходный налог (долл. в неделю);
$PBTRF$ — темп получения прибыли до выплаты налога (долл. в неделю);
$SDIVF$ — темп выплаты дивидендов акционерам (долл. в неделю);
$SDLF$ — уровень платежей дивидендов акционерам (долл. в неделю).

Уравнение 14-108 определяет налог просто как половину полной прибыли предприятия. Уравнение 14-109 показывает, что темп выплаты дивидендов акционерам равен уровню этих платежей, величина которого будет определена в следующем параграфе.

Общая сумма дивидендов, выплаченных акционерам к определенному моменту времени, будет составлять:

$$SDTDF.K=SDTDF.J+(DT)(SDIVF.JK), \quad 14\text{-}110, L$$
$$SDTDF=0, \quad 14\text{-}111, N$$

где

$SDTDF$ — дивиденды акционеров завода (долл.);
$SDIVF$ — темп выплаты дивидендов акционерам завода (долл. в неделю).

Теперь, когда определены все темпы потоков денежных средств, можно записать уравнение уровня, характеризующее наличность денежных средств:

$$CASHF.K=CASHF.J+(DT)(FGCRF.JK-$$
$$-RMCEF.JK- \quad 14\text{-}112, L$$
$$-LCEF.JK-CCEF-ITAXF.JK-SDIVF.JK),$$
$$CASHF=(CNCSF)(CFGPF)(RRF), \quad 14\text{-}113, N$$

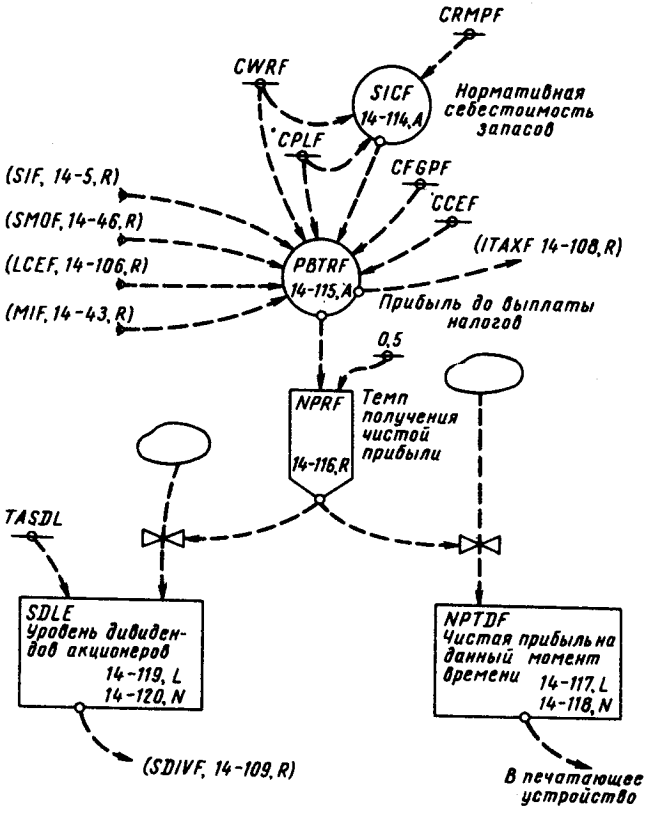
где

$CASHF$ — кассовая наличность на заводе (долл.);
$FGCRF$ — темп поступления средств за готовые изделия (долл. в неделю);
$RMCEF$ — расходы на приобретение материалов (долл. в неделю);
$LCEF$ — расходы по заработной плате на заводе (долл. в неделю);
$CCEF$ — темп постоянных кассовых расходов (фиксированные издержки) (долл. в неделю);
$ITAXF$ — подоходный налог (долл. в неделю);
$SDIVF$ — темп выплаты дивидендов акционерам (долл. в неделю);
$CNCSF$ — константа, нормальное поступление денежных средств в кассу (недельный темп кассовых поступлений);
$CFGPF$ — константа, цена готового изделия на заводе (долл.);
RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю).

В уравнении 14-112 к начальному уровню денежных средств добавляется поток входящих средств и вычитаются пять исходящих денежных потоков, в числе которых имеется поток неизменных, фиксированных издержек, темп

которого *CCEF* принят равным 30 тыс. долл. в неделю, остальные потоки переменны.

Уравнение 14-113 устанавливает начальный уровень денежных средств. Входящая в это уравнение величина *CNCSF* принята равной 1 неделе.



Р и с. 14-16. Прибыль и дивиденды.

Следует отметить, что приведенные на рис. 14-15 символы отображают только действительные потоки денежных средств. Оплата по счетам, перечисления за реализованные изделия и т. п. представляют собой лишь части системы потоков информации.

14.4.9. Прибыль и дивиденды. В рассматриваемой модели текущий темп прибыли играет роль только показателя работы системы. Расчет прибыли будет выполнен с использованием элементарных математических зависимостей. Схематически методика вычисления прибыли представлена на диаграмме потоков на рис. 14-16.

Нормативная себестоимость готового изделия в запасах будет определена с помощью уравнения начальных условий, в которое входят ранее введенные постоянные:

$$SICF = CRMPF + \frac{CWRF}{CPLF}, \qquad 14\text{-}114,\ N$$

где

SICF — нормативная себестоимость единицы изделия в запасах (долл. за единицу);

CRMPF — константа, цена материалов на заводе (долл. за единицу);

CWRF — константа, средняя недельная заработная плата на заводе (долл. за человеко-неделю);

CPLF — константа, производительность труда (единицы за человеко-неделю).

Таким образом, стоимость изделия, находящегося на складе, определяется как сумма стоимости сырья и прямых затрат труда на единицу изделия.

Прибыль до выплаты налога определяется с помощью следующего уравнения:

$$PBTRF.K = (SIF.JK + SMOF.JK) \times \times (CFGPF - SICF) - \left[LCEF.JK - - (MIF.JK + SMOF.JK) \times \times \left(\frac{CWRF}{CPLF}\right)\right] - CCEF, \qquad 14\text{-}115,\ A$$

где

PBTRF — темп получения прибылей до выплаты налога (долл. в неделю);

SIF — отгрузка продукции из запасов завода (единицы в неделю);

SMOF — темп отгрузки продукции, изготовленной по заказам покупателей (единицы в неделю);

CFGPF — константа, цена готового изделия (долл. за единицу);

SICF — нормативная себестоимость единицы изделия в запасе на заводе (долл. за единицу);

LCEF — расходы по заработной плате на заводе (долл. в неделю);

MIF — темп выпуска продукции для возмещения запаса на заводе (единицы в неделю);

CWRF — константа, средняя недельная заработная плата (долл. за человеко-неделю);

CPLF — константа, производительность труда (единицы за человеко-неделю);

CCEF — темп постоянных кассовых расходов на заводе (долл. в неделю).

В круглых скобках уравнения 14-115 первые два члена определяют суммарный темп производства готовой продукции. Этот суммарный темп умножается на цену изделия за вычетом его себестоимости. Эта величина могла бы определить полный доход, если бы нанятая рабочая сила использовалась с максимальной эффективностью. Выражение в квадратных скобках представляет собой вычитаемое, равное полным расходам по заработной плате за вычетом заработной платы, учтенной в себестоимости изделия. Уровень расходов по заработной плате $LCEF$ будет соответствовать доле труда, учтенной в себестоимости выпущенной продукции, только в том случае, если нет расходов на оплату рабочих, которые либо проходят обучение, либо оформляют расчет. Этот член в уравнении учитывает превышение стоимости рабочей силы, обусловленное убытками, вызванными обучающимися и увольняющимися.

Чистая прибыль будет определена просто как половина полной прибыли до уплаты налогов:

$$NPRF.KL=(0{,}5)(PBTRF.K), \qquad 14\text{-}116,\ R$$

$$NPTDF.K=NPTDF.J+(DT)(NPRF.JK), \qquad 14\text{-}117,\ L$$

$$NPTDF=0, \qquad 14\text{-}118,\ N$$

где

$NPRF$ — темп получения чистой прибыли на заводе (долл. в неделю);

$PBTRF$ — темп получения прибылей до выплаты налога (долл. в неделю);

$NPTDF$ — чистая прибыль, вычисленная на определенный момент времени (долл.).

Уравнение 14-117 является уравнением уровней, которое определяет величину чистой прибыли, полученной к определенному моменту времени. Эта величина используется как один из показателей оценки работы системы. Начальное значение этого уровня, согласно уравнению 14-118, равно нулю.

Дивиденды держателей акций определяются, исходя из среднего значения чистой прибыли за некоторый период времени. Тогда величина дивидендов не будет изменяться при кратковременных изменениях темпа прибыли. Соответствующие уравнения при этих условиях принимают следующий вид:

$$SDLF.K=SDLF.J+\frac{DT}{TASDL}\times \times(NPRF.JK-SDLF.J), \qquad 14\text{-}119,\ L$$

$$SDLF=0{,}5\left[RRF\left(CFGPF-CRMPF-\frac{CWRF}{CPLF}\right)-CCEF\right], \qquad 14\text{-}120,\ N$$

где

$SDLF$ — уровень дивидендов акционеров на заводе (долл. в неделю);

$TASDL$ — время регулирования уровня дивидендов (недели);

$NPRF$ — темп получения чистой прибыли (долл. в неделю);

RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю);

$CFGPF$ — константа, цена готового изделия (долл. за единицу);

$CRMPF$ — константа, цена материалов на заводе (долл. за единицу);

$CWRF$ — константа, средняя недельная заработная плата (долл. за человеко-неделю);

$CPLF$ — константа, производительность труда (единицы изделий за человеко-неделю);

$CCEF$ — темп постоянных кассовых расходов (долл. за неделю).

Время экспоненциального усреднения $TASDL$ принято в рассматриваемом примере равным 52 неделям.

Записанные уравнения предусматривают выплату всей прибыли в форме дивидендов, поскольку в формулировку задачи модели не были включены какие-либо иные цели использования прибыли.

Приведенные выше уравнения завершают процесс математического описания изучаемой системы. В дополнение представляется целесообразным включить в модель еще некоторые полезные для изучения системы величины, которые сами по себе не являются активными параметрами или переменными. Помимо этого, нам необходимо иметь набор входных сигналов и типовых функций для анализа поведения системы. В последующих двух параграфах мы и остановимся на этих вопросах.

14. 5. Вспомогательная выходная информация

В ряде случаев оказывается весьма желательным в выходной информации, получаемой на модели в виде цифр, таблиц или графиков, иметь переменные в такой форме или в таких комбинациях, которых нет непосредственно в структурной схеме модели. В дальнейшем мы

их будем называть вспомогательными переменными. Они вычисляются только потому, что их значения, возможно, потребуются при изучении системы.

Для рассматриваемой здесь модели системы действительные числовые значения переменных не имеют большого значения, поскольку модель может отображать деятельность систем различных масштабов. В наибольшей степени нас интересуют относительные изменения большинства переменных; следовательно, для переменных, имеющих первостепенное значение, мы должны уметь вычислять их изменения по отношению к начальным установившимся значениям:

$$BLTPC.K = \frac{(BLTF.K)(100)}{(CINPI)(DNBLF)}, \qquad 14\text{-}121,\ S$$

$$CASPC.K = \frac{(CASHF.K)(100)}{(CNCSF)(CFGPF)(CINPI)}, \qquad 14\text{-}122,\ S$$

где

BLTPC — относительное изменение общего портфеля заказов (проценты);
BLTF — общий портфель заказов (единицы);
CINPI — константа, исходная величина входящего потока заказов (единицы в неделю);
DNBLF — запаздывание в нормальном портфеле заказов завода (недели);
CASPC — относительное изменение кассовой наличности (проценты);
CASHF — кассовая наличность на заводе (долл.);
CNCSF — константа, нормальное поступление денежных средств в кассу (недели);
CFGPF — константа, цена готового изделия (долл.).

Знаменатель в уравнении 14-121 определяет начальную величину портфеля заказов как произведение исходного темпа продаж на нормальное запаздывание в портфеле заказов.

Относительная величина той части требований, которые удовлетворяются за счет запасов, будет равна:

$$FRFPC.K = (FRFIF.K)(100), \qquad 14\text{-}123,\ S$$

где

FRFPC — величина *FRFIF*, выраженная в процентах;
FRFIF — доля требований, удовлетворяемых за счет запасов (безразмерная величина).

Следующие уравнения определяют относительные изменения действительного и желательного уровней запасов, темпа продаж, численности производственного персонала, чистой прибыли и числа полученных заказов:

$$IAFPC.K = \frac{(IAF.K)(100}{(CIRF)(CINPI)}, \qquad 14\text{-}124,\ S$$

$$IDFPC.K = \frac{(IDF.K)(100)}{(CIRF)(CINPI)}, \qquad 14\text{-}125,\ S$$

$$INPPC.K = \frac{INPUT.JK}{CINPI}(100), \qquad 14\text{-}126,\ S$$

$$MENPC.K = (MENPF.K) \times \times \left(\frac{CPLF}{CINPI}\right)(100), \qquad 14\text{-}127,\ S$$

$$NPRPC.K = = \frac{(NPRF.JK)(100)}{(0{,}5)[(CINPI)(CFGPF - SICF) - CCEF]}, \qquad 14\text{-}128,\ S$$

$$RRFPC.K = \frac{RRF.JK}{CINPI}(100), \qquad 14\text{-}129,\ S$$

где

IAFPC — действительный запас на заводе в процентах от начального значения;
IAF — действительный запас на заводе (единицы);
CIRF — коэффициент относительного запаса на заводе (недели);
CINPI — константа, исходная величина входящего потока (единицы в неделю);
IDFPC — желательный запас на заводе в процентах от его начального значения;
IDF — желательный запас на заводе (единицы);
INPPC — поток внешних заказов, в процентах от его начального значения;
INPUT — поток внешних заказов покупателю (эквивалентные единицы в неделю);
MENPC — численность производственных рабочих на заводе в процентах от начальной величины;
MENPF — численность производственных рабочих на заводе (человек);
CPLF — константа, производительность труда на заводе (единицы за человеко-неделю);
NPRPC — чистая прибыль в процентах от начального значения;
NPRF — темп поступления чистой прибыли на заводе (долл. в неделю);
CFGPF — константа, цена готового изделия (долл. за единицу);
SICF — нормативная себестоимость единицы изделия в запасах на заводе (долл. за единицу);

CCEF — темп постоянных кассовых расходов на заводе (долл. в неделю);
RRFPC — темп поступления требований на завод в процентах от начальной величины;
RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю).

Кроме того, нам полезно знать общий темп отгрузки изделий покупателям, величина которого нами еще не была определена:

$$SCF.K=SIF.JK+SMOF.JK, \qquad 14\text{-}130,\ S$$

где

SCF — отгрузка продукции покупателям с завода (единицы в неделю);
SIF — отгрузка продукции из запасов завода (единицы в неделю);
SMOF — отгрузка продукции, изготовленной по заказам покупателей (единицы в неделю).

При оценке работы моделируемой системы иногда целесообразно использовать информацию о финансовом состоянии системы. В подразделе 14.4.8. мы определили ряд переменных в простейших потоках денежных средств. Дополнительно к этому мы введем в рассмотрение информацию из балансовых ведомостей, дающую стоимостную оценку наличных запасов и оценку разницы между текущими активами (состояние кассы, перечисления по счетам, запасы готовых изделий, материалы и незавершенное производство) и текущей задолженностью (в данном рассмотрении только задолженности по оплате счетов):

$$VIAF.K=(IAF.K)(SICF), \qquad 14\text{-}131,\ S$$

$$VIPIF.K=(OPIF.K+OPCF.K)\times \times\left[CRMPF+(0{,}5)\left(\frac{CWRF}{CPLF}\right)\right], \qquad 14\text{-}132,\ S$$

$$VRMSF.K=(RMSF.K)(CRMPF), \qquad 14\text{-}133,\ S$$

$$VTIF.K=VIAF.K+VIPIF.K+VRMSF.K, \qquad 14\text{-}134,\ S$$

$$SURPL.K=VTIF.K+ARF.K+CASHF.K- - APF.K, \qquad 14\text{-}135,\ S$$

где

VIAF — стоимость фактического запаса на заводе (долл.);
IAF — фактический запас на заводе (единицы);
SICF — нормативная себестоимость единицы изделия в запасах на заводе (долл. за единицу);
VIPIF — стоимость незавершенного производства на заводе (долл.);
OPIF — заказы на возмещение запаса в незавершенном производстве на заводе (единицы);
OPCF — заказы покупателей в незавершенном производстве (единицы);
CRMPF — константа, цена материалов на заводе (долл. за единицу);
CWRF — константа, средняя недельная заработная плата (долл. за человеко-неделю);
CPLF — константа, производительность труда на заводе (единицы за человеко-неделю);
VRMSF — стоимость запаса материалов на заводе (долл.);
RMSF — запасы материалов на заводе (эквивалентные единицы);
VTIF — стоимость всех запасов на заводе (долл.);
SURPL — излишек, разница между текущими значениями активов и подлежащими к оплате счетами (долл.);
ARF — счета к получению (долл.);
CASHF — кассовая наличность (долл.);
APF — счета к оплате на заводе (долл.).

14. 6. Проверочные функции на входе

Теперь нам остается определить проверочные переменные, которые будут использованы в качестве входных потоков, отображающих внешние заказы на оборудование покупателям (см. рис. 14-14), и шумы, имеющие место в исходящих решениях технических отделов и отделов снабжения покупателя.

Входной сигнал будет определен нами как сумма его начального установившегося значения и переменной части, которая включает скачок, два линейных участка и гармоническую функцию:

$$INPUT.KL=CINPI+INPCH.K, \qquad 14\text{-}136,\ R$$

$$INPUT=CINPI, \qquad 14\text{-}137,\ N$$

$$INPCH.K=STP1.K+GTH1.K+GTH2.K+ +SNE.K, \qquad 14\text{-}138,\ A$$

где

INPUT — входящий поток внешних заказов покупателю (эквивалентные единицы в неделю);

CINPI — константа, начальное значение входящего потока заказов (единицы в неделю);
INPCH — изменение потока входящих заказов (единицы в неделю);
STP1 — скачок № 1 в сигнале входа (единицы в неделю);
GTH1 — линейный участок № 1 возрастания сигнала (единицы в неделю);
GTH2 — линейный участок № 2 возрастания сигнала (единицы в неделю);
SNE — гармонический сигнал на входе (единицы в неделю).

Средний уровень активности системы характеризуется начальным темпом продаж *CINPI*, величина которого принята равной 1000 единиц в неделю.

Во всех предыдущих, как и во всех последующих, уравнениях для проверочных сигналов, значения определяющих постоянных будут вначале приняты равными нулю. Те постоянные, влияние которых на характеристики системы исследуется при данном проигрывании, могут принимать любые желаемые значения.

Гармонически изменяющаяся функция входного сигнала записывается в виде:

$$SNE.K = (SIH)\sin\frac{(2\pi)(TIME.K)}{PER}, \qquad 14\text{-}139,\ A$$

где

SNE — гармонический ввод (единицы в неделю);
SIH — амплитуда синусоидальной входной функции (единицы в неделю);
TIME — календарное время (недели);
PER — период гармонической проверочной функции (недели).

В предыдущем уравнении начальное значение периода функции *PER* не может быть принято равным нулю, поскольку эта величина является знаменателем дроби. Поэтому начальное значение периода *PER* принимается равным 52 неделям, а нулю приравнивается амплитуда этой функции.

В разделе, посвященном исследованию заказов покупателей и представленном схематически на рис. 14-14, входной сигнал с присутствием шума был включен в исходящий поток заявок из технических отделов покупателя, а также в поток заказов из отделов снабжения (уравнения 14-94 и 14-95). При формировании сигнала шума следует с большой осторожностью подходить к выбору частот шума. Наиболее прямые, непосредственные методы приемлемы для введения в систему непропорционально большой составляющей высокочастотного шума, оказывающего малое влияние на работу системы. В то же самое время эти методы не обеспечат введение ожидаемых низкочастотных составляющих шума, возникновение которых в реальных системах представляется наиболее вероятным. Нам необходимо так выбирать и управлять составляющими полного спектра шума, чтобы обеспечить реальные из месяца в месяц флуктуации темпов заказов.

В дальнейшем будет использоваться такой вид функции помехи, которая будет не только отображать характеристики шума в течение определенных промежутков времени, но и поддерживать эти значения, используя их в модели до момента начала следующего проигрывания с другими значениями параметров шума:

$$NEDC.K = SAMPLE\ (NNEDC.K,\ CNSEC) \qquad 14\text{-}140,\ A$$

где

NEDC — шум в исходящих решениях технических отделов покупателей (безразмерная величина);
SAMPLE — функциональное обозначение, указывающее, что значение переменной в круглых скобках должно периодически устанавливаться и что это значение переменной принято и действует в течение интервала, обозначенного постоянной;
NNEDC — нормальный сигнал шума в исходящих решениях технического отдела у покупателя (безразмерная величина);
CNSEC — постоянная, продолжительность существования данного выбранного значения шума в решениях технического отдела (недели).

Вначале длительность испытаний будет установлена равной нулю, то есть $CNSEC=0$, до тех пор, пока она не будет выявлена для конкретного проигрывания на модели. Период испытаний продолжительностью около одного месяца может быть достаточным для анализа таких ситуаций, при которых мы могли бы ожидать наличия существенных ежемесячных изменений в спецификациях, составленных техническими отделами покупателя.

Выборку шумов получаем в соответствии с нормальным распределением шума по уравнению:

NNEDC.K=NORMRN (0,0, *CNAEC*), 14-141,*A*

где

NNEDC — нормальный шум в решениях технических отделов покупателя (безразмерная величина);

NORMRN — функциональное обозначение, используемое для обозначения выхода генератора случайных величин с нормальным распределением; среднее значение отображается первой постоянной, а стандартное отклонение — второй;

CNAEC — постоянная, амплитуда шума в исходящих решениях технических отделов покупателя (часть от общего потока).

В рассматриваемом примере среднее отклонение шума *CNAEC*=0, до тех пор пока это будет необходимым.

Независимый, но аналогичный генератор случайных функций используется в потоках решений отделов снабжения покупателя:

NPC.K=SAMPLE (*NNPC.K*, *CNSPC*), 14-142, *A*

NNPC.K=NORMRN (0, 0, *CNAPC*), 14-143, *A*

где

NPC — шум в потоке заказов на закупки у покупателя (безразмерная величина);

SAMPLE — функциональное обозначение, указывающее, что переменная в круглых скобках должна периодически устанавливаться и что выбранное ее значение поддерживается в течение периода, обозначенного постоянной;

NNPC — нормальный шум в потоке исходящих заявок отделов снабжения покупателя (безразмерная величина);

CNSPC — константа, время действия выбранного значения шума в решениях отдела снабжения (недели);

NORMRN — функциональное обозначение, используемое для выходного сигнала генератора случайных функций; среднее значение дается первой постоянной, а стандартное отклонение — второй;

CNAPC — постоянная, амплитуда шума в выходных решениях отделов снабжения потребителя (часть от полного потока).

Здесь, как и ранее, принимается *CNSPC*=0 и *CNAPC*=0.

В тех случаях, когда уровень заказов в процессе оформления в отделах снабжения сокращается (среднее время запаздывания *DRCC* равно 3 неделям), целесообразнее рассматривать более короткий период *CNSPC*, составляющий около одной недели.

Этим мы завершаем формулирование модели, которая будет использована в следующей главе.

Глава 15

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧЕЙ СИЛЫ (продолжение)

В разделе 15.1 данной главы исследуется динамическое поведение системы, описанной в главе 14. Для определения условий, при которых система проявляет наибольшую чувствительность, в разделе 15.2 модель испытывается при различных значениях параметров. В разделах 15.3—15.7 вводятся изменения в структуру системы и ее руководящие правила с целью увеличить стабильность численности рабочей силы, улучшить положение с денежными средствами, упорядочить портфель заказов и сроки их исполнения без повышения уровня запасов и его колебаний.

В главе 14 дан анализ и разработана модель такой практической деятельности, которая, как это представлялось, имела место в промышленной системе. В настоящей главе сначала исследуются характеристики данной модели с таким расчетом, чтобы убедиться, что ее поведение в достаточной мере соответствует действительной системе, описанной в разделах 14.1, 14.2 и 14.3. Затем заменяются некоторые положения, описанные в разделе 14.4, с тем чтобы проверить чувствительность системы к их изменениям при первоначально принятых правилах управления. Затем вводятся изменения и в некоторые из этих правил, чтобы улучшить систему управления. В заключение проводится сопоставление характеристик новой и старой систем.

15. 1. Старая система

Как и в главе 13, в данной главе система сначала испытывается в условиях ввода идеализированных данных, которые позволяют понять динамический характер системы. Эти данные будут представлены сначала скачкообразным изменением величины поступающих к покупателям заказов, а затем и периодическим их изменением. После этого будет проведено исследование влияния случайных изменений в исходящем потоке технического отдела фирмы, являющейся покупателем деталей электронного оборудования.

15.1.1. Скачкообразное изменение спроса. Для получения первоначального представления о характере такого типа системы, с которой мы имеем дело, применяется скачкообразно меняющийся ввод. Он позволяет установить, не преобладают ли в данном случае собственные частоты, которые характеризуются лишь медленным затуханием. Если это так, то можно определить их период, а также степень затухания, а если система неустойчива — то и степень увеличения амплитуды колебания.

На рис. 15-1 показано 10-процентное скачкообразное изменение независимого ввода заказов на оборудование покупателям деталей. В ответ на такой ввод система реагирует периодическими колебаниями. Период этих колебаний составляет около 100 недель с максимальными значениями численности рабочих, появляющимися по истечении 68, 168 и 266 недель [1].

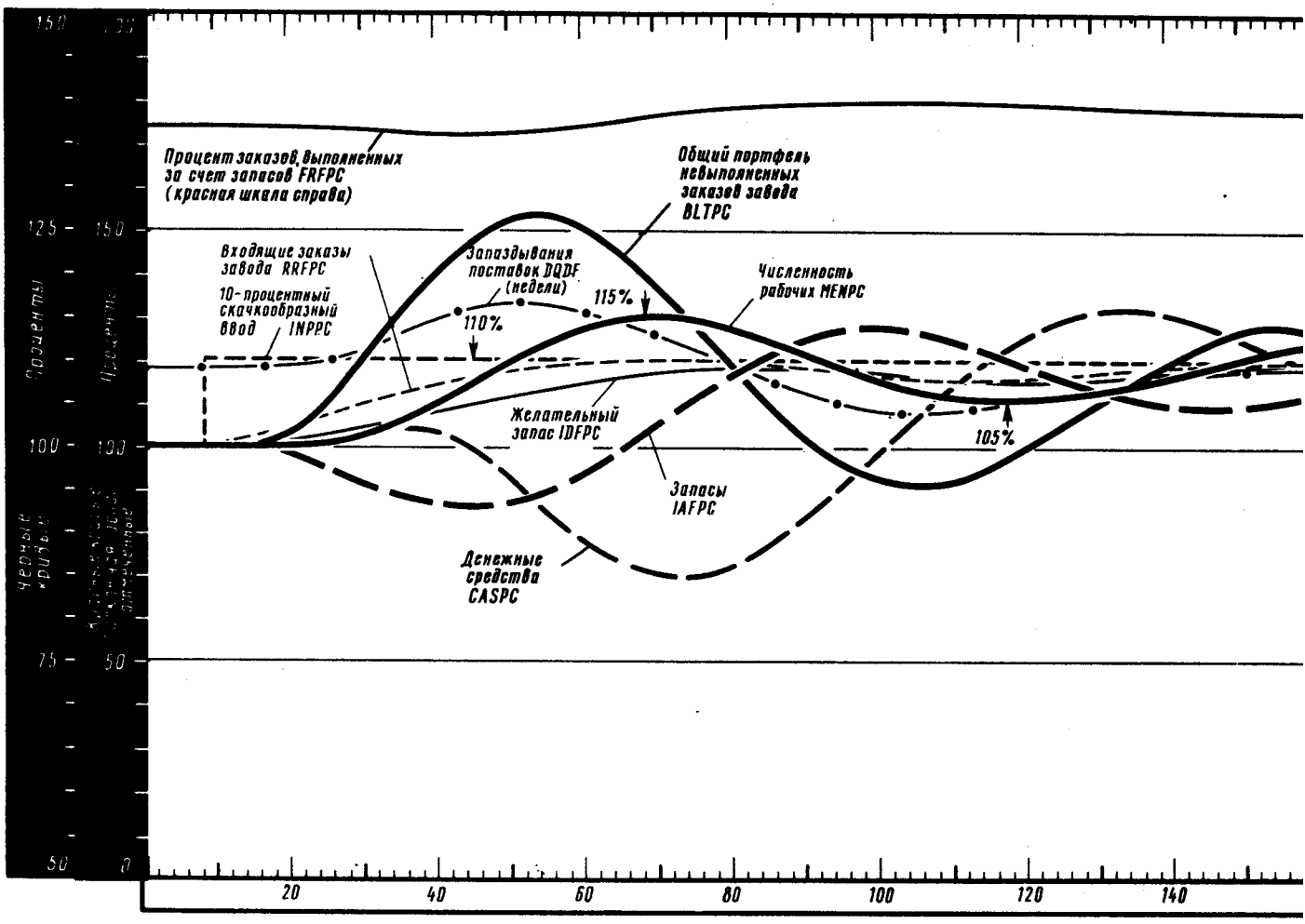
Степень затухания колебаний составляет примерно 50% за каждый цикл, то есть максимальное отклонение величины численности рабочих от ее установившегося значения уменьшается вдвое с каждым новым периодом колебаний [2]. Такое затухание следует считать очень медленным.

---

[1] Многие из приведенных цифр взяты из табуляграмм проигрываний модели и поэтому не вытекают из данных, приведенных в тексте.

[2] Последовательные максимумы: 114,9%, 112,5% и 111,1%. Установившийся уровень — 110%. Получаются отношения амплитуд за цикл:

$$\frac{112{,}5-110}{114{,}9-110} = 0{,}51 \quad \text{и} \quad \frac{111{,}1-110}{112{,}5-110} = 0{,}44.$$

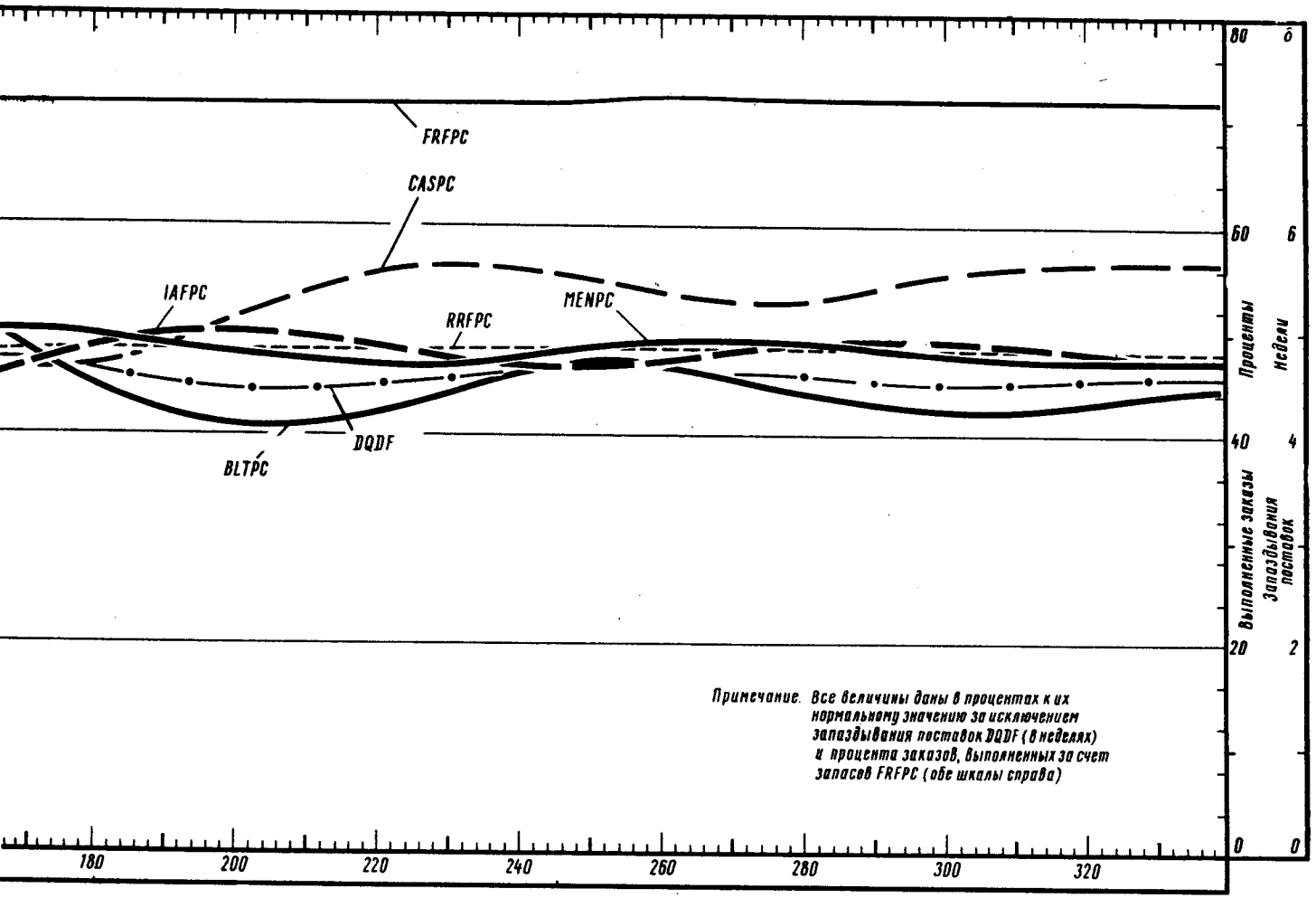


Р и с. 15-1. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (старые руководящие правила

Столь малая степень затухания за один цикл свидетельствует о довольно устойчивой тенденции системы к колебаниям с периодом, несколько меньшим двух лет. Как и в главе 13, в данном случае можно заметить, что система в большей степени подвержена возмущениям под влиянием случайных помех, повсеместно в ней встречающихся. Можно ожидать, что система будет весьма значительно усиливать любые внешние или внутренние возмущения с периодом, близким к двум годам.

Исследование кривых на рис. 15-1 показывает, что высшие и низшие точки кривой численности рабочих появляются в те же моменты, что и у кривой типа входящих заказов. Когда обе эти величины достигают максимума, запасы повышаются наиболее интенсивно, как это и было проиллюстрировано раньше на рис. 14-1. И наоборот, запасы уменьшаются, когда численность рабочих и темп входящих заказов понижаются в наибольшей степени. При этом колебания численности рабочих в два раза интенсивнее по сравнению с темпом входящих заказов; разница между ними соответствует изменениям в запасах. Как уже отмечалось в разделе 14.1, запасы в данном случае скорее усиливают колебания численности рабочих и производства, чем помогают выравнять их.

Внезапный подъем деловой активности незамедлительно повышает наличие денежных средств при одновременном истощении запасов. В период же пополнения запасов наличие денежных средств уменьшается с тем, чтобы снова увеличиться при дальнейшем подъеме уровня деловой активности и повышения прибыльности.



скачкообразный рост спроса).

Рис. 15-1 свидетельствует о двух серьезных затруднениях, появляющихся в системе:

— при любом заданном изменении входящих заказов завода обнаруживается, что численность рабочих, запасы, денежные средства и портфель заказов изменяются в большей степени, чем заказы заводу;

— информация обратной связи об условиях и сроках поставок заводов вызывает колебания в самих темпах поступления входящих заказов.

В данном случае, как и в других подверженных колебаниям информационных системах с обратной связью, естественный период колебания саморегулируется, приближаясь к периоду, при котором в контуре обратной связи появляется максимальное усиление.

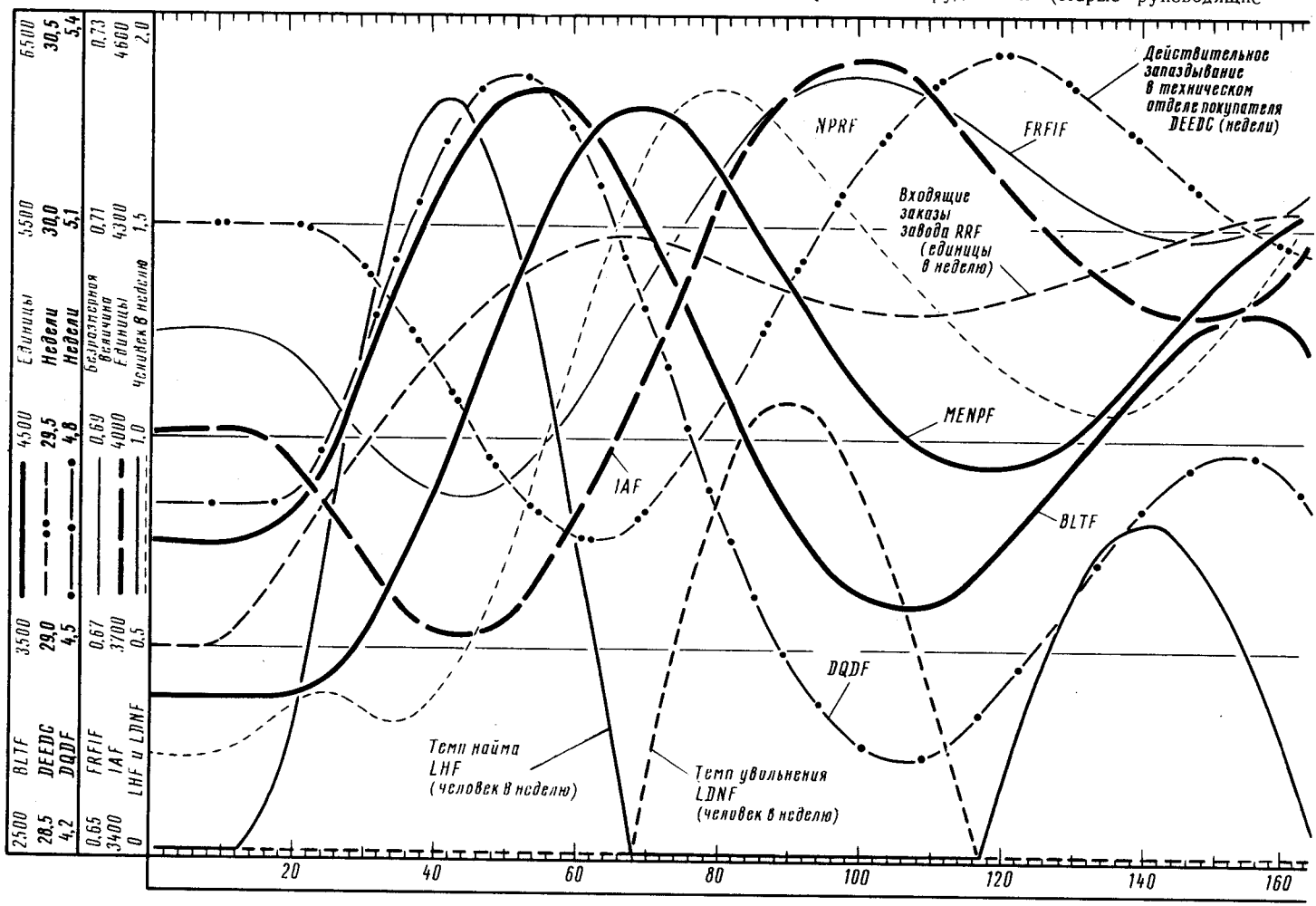
На рис. 15-2 изображено большинство тех же кривых, что и на рис. 15-1, но в увеличенном масштабе, с тем чтобы яснее можно было увидеть связь во времени между различными переменными [1]. Взаимодействия обратной связи можно проследить в той части диаграммы 15-2, которая расположена между точками, соответствующими 120 и 220 неделям. В первой из указанных точек численность является минимальной и уровень запасов снижается. Поскольку уровень запасов снижается, то в интервале времени от 115 до 150-й недели запаздывание поставок заводом увеличивается. В связи с последним

[1] Следует отметить, что на рис. 15-2 каждая кривая имеет собственный масштаб. Поэтому сравнивать их амплитуды следует с известной осторожностью. Отметим также, что кривые построены в натуральных измерениях, а не по процентным соотношениям.

обстоятельством технический отдел покупателя через некоторое время перестраивает свою работу и начинает быстрее выдавать спецификации на покупаемые детали. Это снижение сроков составления спецификаций в техническом отделе покупателя проявляется в интервале между 120-й и 165-й неделями. Увеличение запаздывания поставок заводом и ускорение составления спецификаций приводят к увеличению потока заказов покупателей в течение периода от 115-й до 160-й недели. Снижение запасов и рост темпа продаж влечет за собой увеличение численности рабочих в промежутке между 120-й и 170-й неделями. В точке, соответствующей 148-й неделе, темпы производства и поставок совпадают, о чем свидетельствует минимум кривой запасов, в районе которого величина запасов неизменна. К 152-й неделе возрастание запаздывания поставок заводом прекращается. В результате входящие заказы достигают своего максимума к истечению периода в 162 недели. Высокая численность в это время приводит к быстрому росту запасов, что в свою очередь влечет за собой уменьшение запаздывания поставок в интервале от 160-й до 200-й недели. Последнее обстоятельство дает возможность покупателю несколько снизить темпы размещения заказов, вследствие чего их число уменьшается. Избыток запасов и уменьшение заказов приводят к снижению численности рабочих, которая достигает минимума к моменту, соответствующему 220-й неделе. Полный цикл, занимающий 100 недель, связывает, таким образом, в единую цепь рабочую силу, запасы, запаздывания поставок, подготовку технических спецификаций, размещение заказов, снова рабочую силу и т. д.

15.1.2. Одногодичный период. На рис. 15-3 показана реакция модели на синусоидальное возмущение на входе с периодом в 1 год. Все темпы потоков системы в этом случае изменяются относительно слабо. Это объясняется двумя причинами.

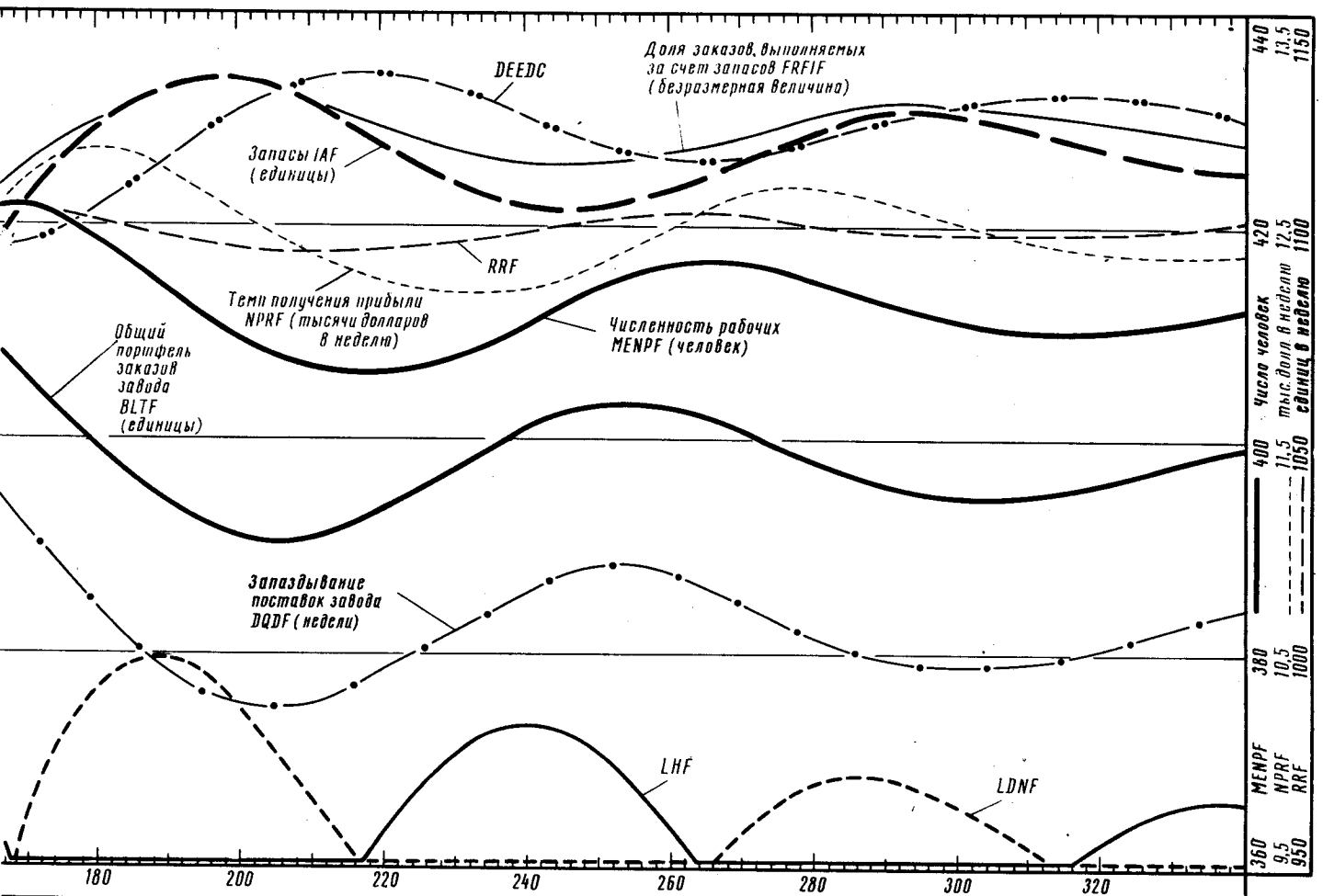
Р и с. 15-2. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (старые руководящие



Во-первых, всякое запаздывание, как, например, запаздывание в техническом отделе покупателя, смягчает любое колебание, период которого короче или приближается к продолжительности запаздывания. В данном случае запаздывание в техническом отделе покупателя составляет 30 недель, что является значительной частью года. Темп агрегированного потока, выходящего из всех технических отделов покупателя, не в состоянии отразить в полной мере всю совокупность кратковременных колебаний, возникающих на входе.

Во-вторых, затухание возмущения с периодом в 1 год происходит также в силу следующего обстоятельства. Естественный период колебания системы, как это показано на рис. 15-1 и 15-2, составляет около 100 недель. При колебаниях с таким периодом получаемый покупателем поток информации о запаздывании поставок будет способствовать усилению колебаний системы. Однако не следует ожидать, что такое же усиление будет иметь место при колебаниях с иным периодом. В действительности в модели с одногодичным периодом возмущения наблюдается противоположная картина. Анализ кривой запаздывания в техническом отделе (эта кривая не показана на приведенных рисунках) свидетельствует о том, что технический отдел стремится ускорить представление чертежей в то время, когда загрузка работой уменьшается в связи с колебаниями ввода. Оба эти обстоятельства определяют в известной мере тенденцию к взаимному поглощению и к уменьшению влияния возмущений, возникающих на входе в систему и передающихся от покупателя на завод. В силу двух приведенных причин колебания темпа заказов заводу по величине примерно такие же, как и колебания независимого ввода к покупателю; в то же время колебания численности рабочих почти в два раза больше годовых, сезонных колебаний потока заказов заводу.

правила, скачкообразный рост спроса; масштаб шкал увеличен).

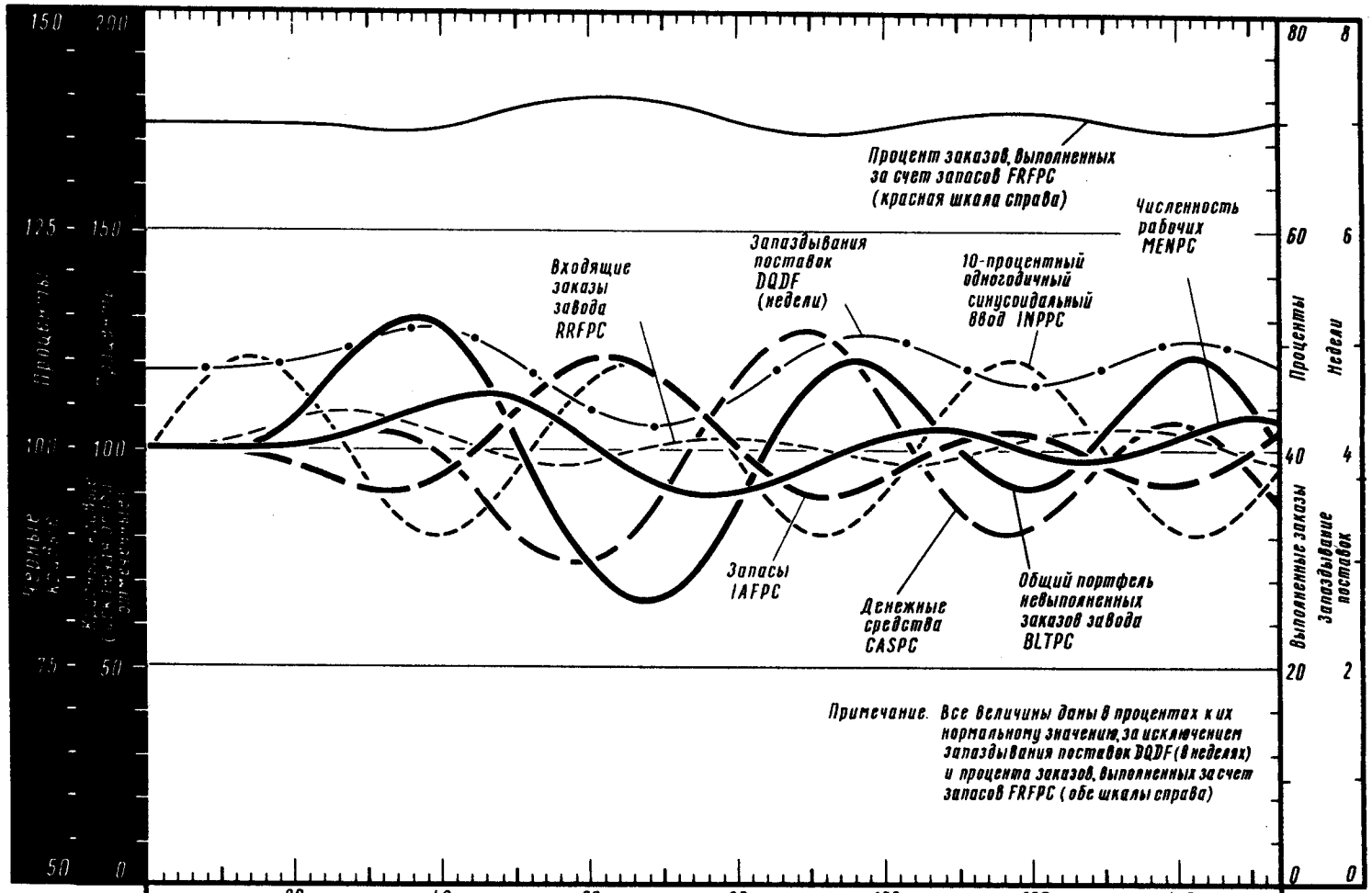


15.1.3. Двухгодичный период. На рис. 15-4 показана реакция системы на колебания темпа входящих заказов, получаемых покупателями с амплитудой 10% и двухлетним периодом. Она резко отличается от реакции системы, отображенной на рис. 15-3. В этом случае ряд недостатков системы проявляется особенно отчетливо. Она действует как усилитель возмущения первичного ввода. Амплитуды колебаний в системе в 5—7 раз превышают амплитуды колебаний в системе с одногодичным периодом. В наибольшей степени увеличились колебания численности рабочих: они стали в 7 раз больше по сравнению с колебаниями, представленными на рис. 15-3. На рис. 15-4 колебания численности в 2,4 раза превышают первичные изменения входящего потока заказов покупателю.

Заказы, поступающие на завод от покупателя, колеблются несколько больше, чем заказы покупателям. Это справедливо даже в случае, если амплитуда колебания ввода на участке технического отдела покупателя уменьшится на 50%. Темп выдачи заказов покупателем более чем в два раза превышает ту его величину, которая ожидается по данным самого покупателя вследствие усиливающего действия поступающей с завода информации обратной связи об изменении запаздывания поставок. На рис. 15-4 запаздывание поставок с завода достигает наивысшей точки по истечении 250 недель. Это способствует созданию через некоторое время у покупателя опережения выдачи заказов и помогает поднять до максимума кривую входящих заказов завода, которая достигает наивысшей точки по истечении 255 недель.

Заводской портфель заказов, «нормальная» величина которого равняется четырехнедельному выпуску продукции, изменяется в ту или иную сторону на величину, равную примерно четырехнедельной продаже. Наличные средства, нор-

Р и с. 15-3. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (старые руководящие правила, одногодичный синусоидальный ввод).



матив которых составляет сумму поступлений в течение 1 недели, снижаются почти до нуля, поскольку активы перемещаются с банковского текущего счета в запасы.

Как и на рис. 14-1, запасы снижаются одновременно с уменьшением продаж и растут до того момента, когда продажи достигают максимума. Это в значительной степени объясняет тот факт, что численность рабочих колеблется в 2,2 раза больше, чем темп продаж. При низком уровне продаж часть потребности покупателей покрывается за счет запасов; при увеличении продаж производство опережает спрос и запасы начинают накапливаться. Некоторая нелинейность системы (не значительная) видна из несимметричности верхних и нижних петель кривых.

Запасы изменяются в меньшей степени, чем можно было ожидать, исходя из величины амплитуд других кривых. Колебания запасов равняются примерно недельному выпуску продукции (нормальные запасы составляют четырехнедельный выпуск продукции, таким образом, 25-процентные колебания равняются выпуску продукции за неделю). Запаздывание поставок колеблется между 3,5 и 6,7 недели.

Изложенное позволяет думать, что структура рассмотренной системы и ее руководящие правила являются неудовлетворительными, поскольку они усиливают внешние возмущения, особенно если их период близок к двум годам.

15.1.4. Случайные изменения в исходящем потоке технического отдела. В предшествующих диаграммах использовались чистые, идеализированные испытательные вводы, что давало возможность проследить поведение каждого компонента системы во времени. Предыдущие кривые были сглаженными и казались искусственными в сравнении с действительными явлениями в промышленном предприятии, так как все решения в системе были свободны от случайных изменений.

Теперь мы готовы рассмотреть реакции системы на более сложные внешние условия. Для этой цели мы вводим неравномерный темп поступления спецификаций из агрегированных технических отделов покупателя. Как установлено в разделах 14.4.7 и 14.6, в модели существует возможность возникновения переменной помехи в темпе потока между техническим отделом и отделом снабжения покупателя. Этот переменный сигнал не создает и не уничтожает ни одного заказа на детали. Заказы определяются требованиями, которые в течение длительного времени поступают к покупателю извне. Случайный выход из технического отдела может повлиять на время выдачи заказов и, следовательно, вызвать неравномерность исходящего потока заказов. Любой случайный сигнал содержит весьма широкую полосу возмущающих частот; поэтому он способен вызывать такой вид поведения, к которому промышленная система сама по себе особенно чувствительна.

Мы будем теперь исследовать модель промышленного производства деталей электронного оборудования при условии, что поток заказов, поступающих в технический отдел покупателей, носит постоянный характер, а в потоке исходящих из него заказов на детали содержатся повторяющиеся из месяца в месяц случайные колебания.

Чем глубже проникает случайное колебание в систему, тем более оно сглаживается и приобретает скорее характерные черты самой системы, чем первоначальной помехи. Даже в поступающих на завод требованиях уже наблюдается определенная величина корреляции; это значит, что заказы, поступающие в течение следующих одна за другой недель, изменяются постепенно вследствие вмешательства отдела снабжения покупателя, который усредняет и сглаживает поток заказов.

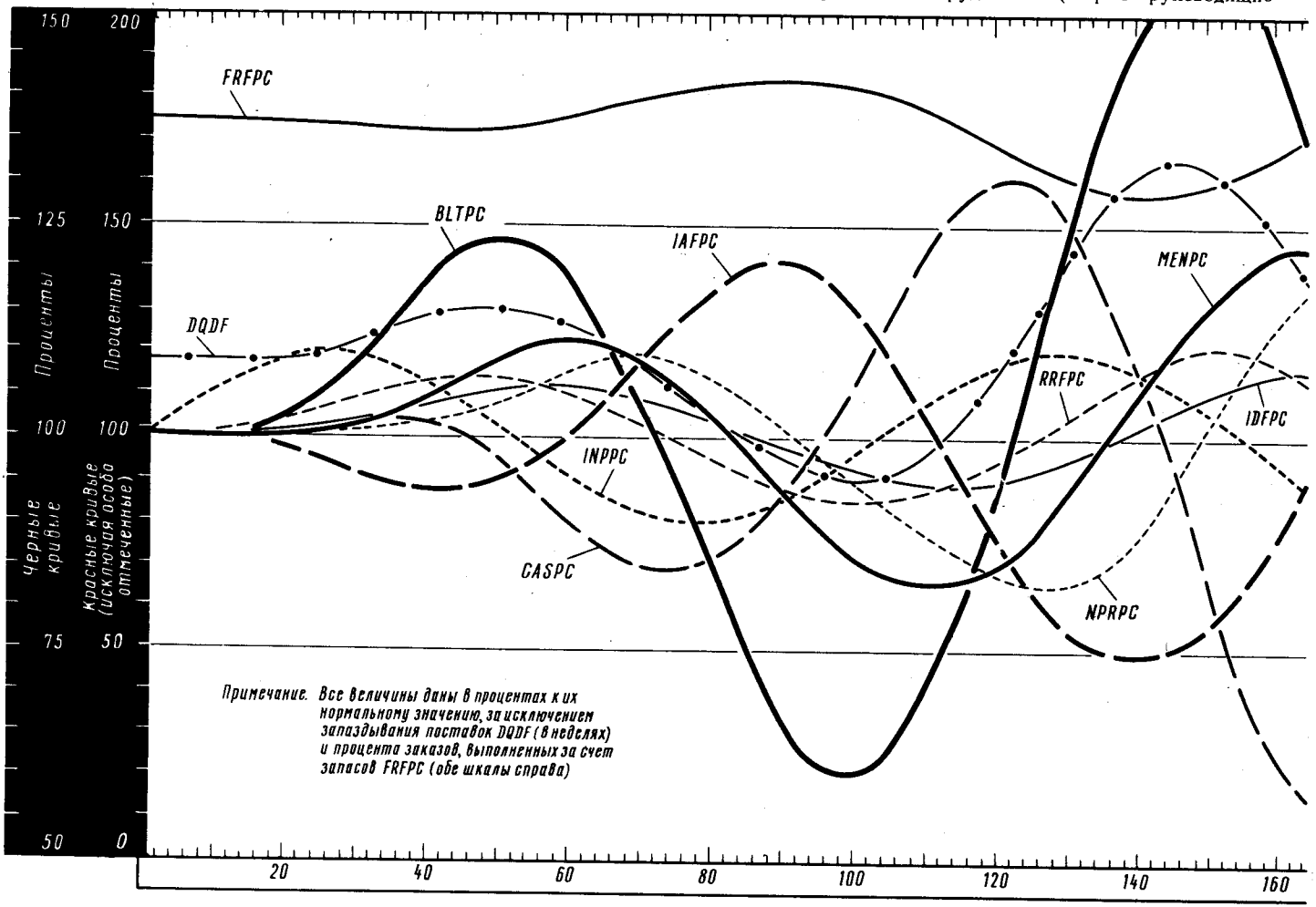
К тому времени, когда случайные возмущения начнут воздействовать на численность рабочих на заводе, преобладающее изменение незначительно удалено от 100-недельного естественного периода системы. Численность достигает максимального значения ко времени истечения 66, 141, 250 и 316-й недель. Эти сроки отделены друг от друга интервалами в 75, 109 и 66 недель.

На рис. 15-5 кривая численности рабочих занимает область между 121 и 87% нормального значения; таким образом, максимум составляет 140% минимума. Само собой разумеется, что амплитуда возмущений системы зависит от амплитуды изменения помехи, включенной в модель. Наибольший интерес представляет в данном случае не сама действительная амплитуда, а скорее тот предел, до которого нежелательные реакции системы на любой ввод могут быть подавлены путем изменений в организации или правилах системы. Наибольший интерес прежде всего представляет сравнительное изучение влияния различных руководящих правил при одном и том же вводе. Однако мы стремимся к тому, чтобы эти испытания производились в рамках наиболее правдоподобных операций и чтобы была уверенность, что в модели представлены существенные динамические характеристики изучаемой системы.

Рис. 15-5 содержит главные качественные характеристики, которые явились первопричиной изучения системы. На рисунке показаны результаты проигрывания на модели, при котором исследовалось функционирование системы в течение семи лет при наличии конечного спроса на продукцию. Этот спрос в действительности является постоянным. Колебания численности рабочих здесь велики; периоды от одного до двух лет между максимумами большинства главных переменных являются наиболее характерными; запасы быстро увеличиваются в течение периода максимумов численности рабочих и достигают максимума вскоре после наибольших значений численности; среднее запаздывание поставок колеблется между 3,6 и 6,4 недели, хотя доля заказов, выполняемых за счет запасов, изменяется только в пределах 63—75%; запасы изменяются на 25%, что по объему составляет недельный выпуск продукции. Портфель невыполненных заказов на заводе, включая заказы покупателя и заказы для пополнения запаса, отклоняются в обе стороны от нормального значения на величину, равную четырехнедельному выпуску продукции. Вообще соотношения по времени и фазам между различными кривыми являются вероятными для такого рода промышленных ситуаций. Моменты максимумов кривой портфеля заказов опережают максимумы численности рабочих, которые в свою очередь опережают моменты, когда запасы являются наибольшими. Кривая желательного запаса может быть принята за показатель средних продаж [1]; мож-

[1] В соответствии с уравнениями 14-19 и 14-125 эта кривая эквивалентна процентному изменению средних продаж *RSF*, а также процентному изменению ожидаемого уровня запасов.

Р и с. 15-4. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (старые руководящие



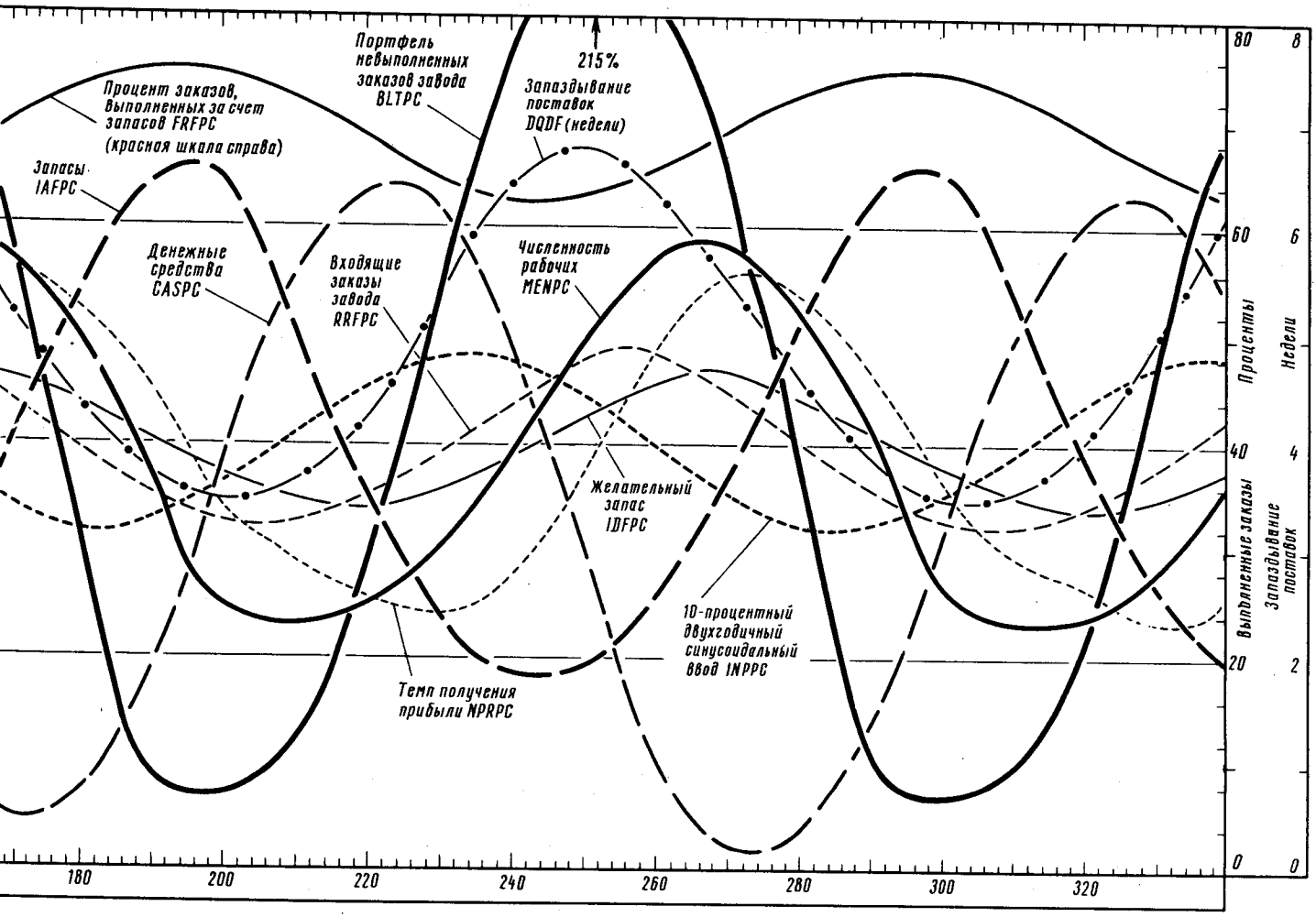
но видеть, что колебания численности рабочих значительно интенсивнее колебаний средних продаж; при этом рис. 15-4 показывает, что запасы увеличиваются в период высокого уровня продаж и падают при их низком уровне.

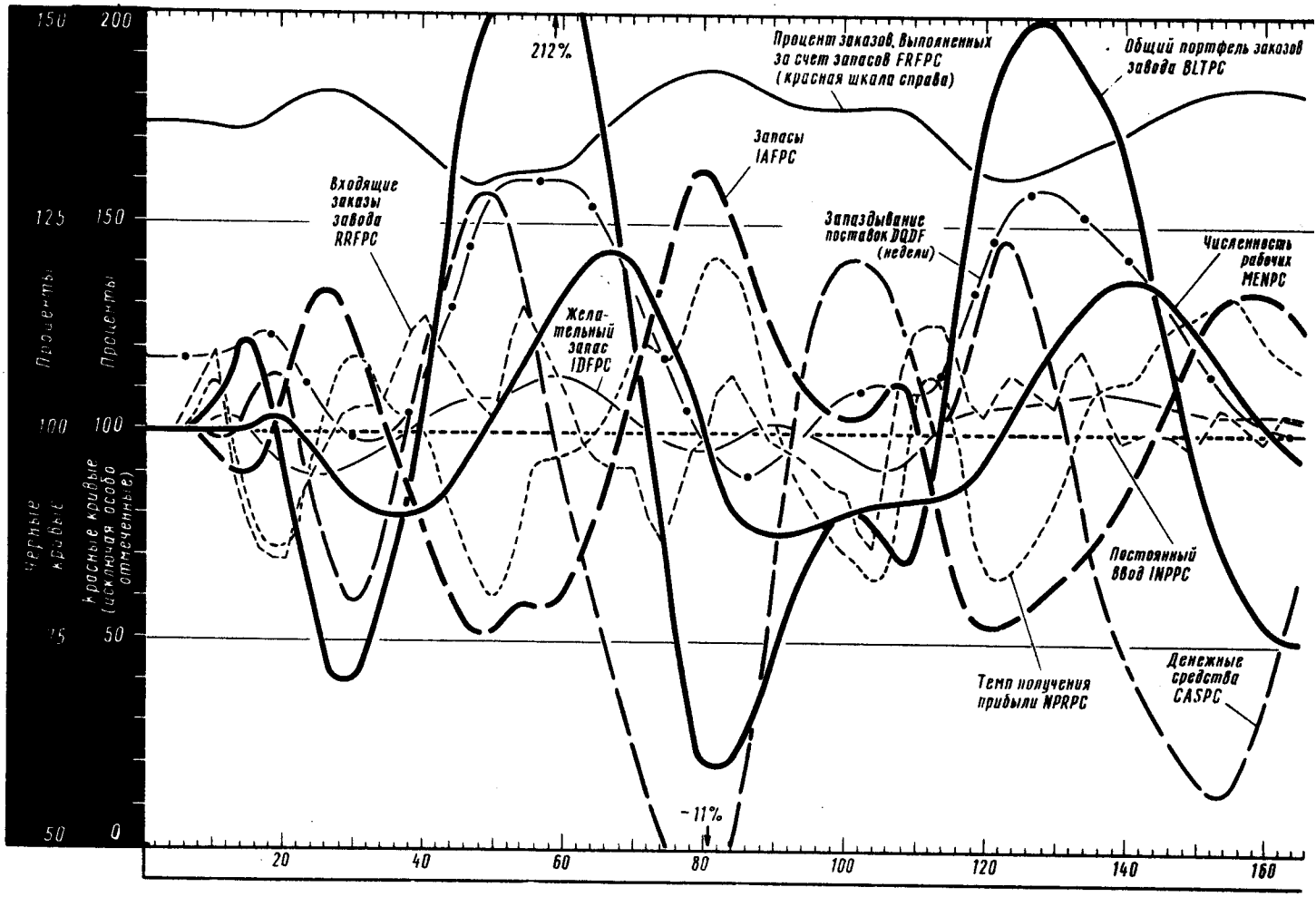
Как уже не без основания явствовало из рис. 15-1 и 15-4, система, показанная на рис. 15-5, неблагоприятно реагирует на неизбежные случайные возмущения, которые всегда будут иметь место в промышленной системе. Так как система весьма чувствительна и избирательна по отношению к частотам, близким к двухлетнему периоду, она отбирает частотные компоненты такой периодичности и усиливает их. Поэтому любое возмущение, вызываемое случайной помехой, вполне достаточно, чтобы вызвать к действию присущую системе склонность к появлению неблагоприятных колебаний, возникающих в силу взаимодействия между выдачей заказов покупателями, запасами завода, запаздыванием поставок и уровнем численности рабочих.

15.1.5. Поток денежных средств и динамический финансовый баланс. Переменные, нанесенные в предыдущей диаграмме, являются главными, определяющими динамическую характеристику системы, хотя обычно финансовым переменным уделяется больше внимания. Финансовые данные, соответствующие рис. 15-5, показаны на рис. 15-6 для потока денежных средств и на рис. 15-7 для динамического финансового баланса.

На рис. 15-6 представлены 6 переменных потоков денежных средств из диаграммы на рис. 14-15. Шкалы имеют различные нулевые точки для того, чтобы разместить кривые на одной и той же диаграмме. Однако диапазон диаграммы в высоту равен 20 000 долл. в неделю для

правила, двухгодичный синусоидальный ввод).





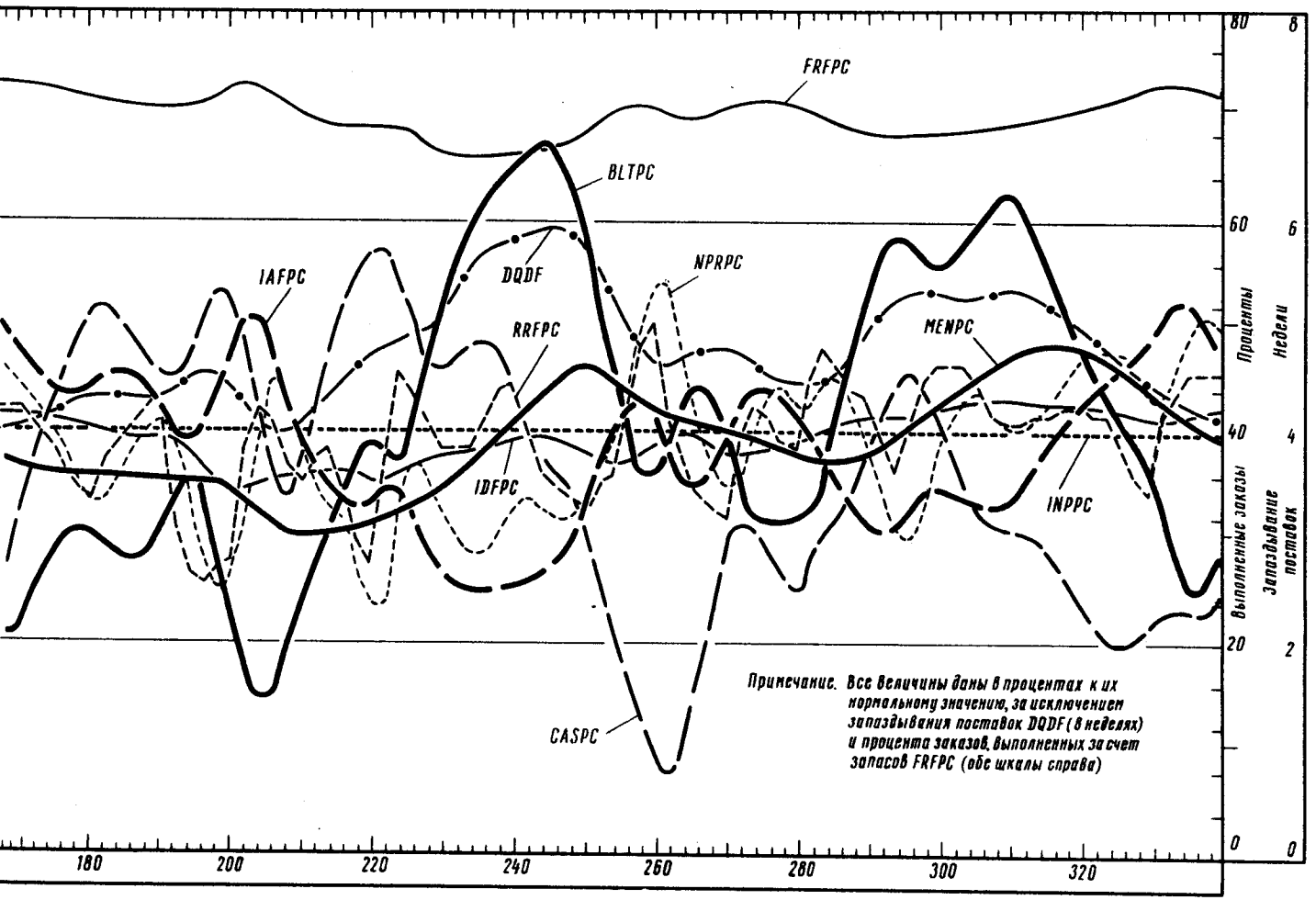
Р и с. 15-5. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (старые руководящие правила,

каждой кривой, таким образом, их вертикальные изменения сравнимы [1]. Следует отметить, что темпы расходов начинают возрастать и достигают максимума раньше, чем поступления денежных средств. Это ясно видно, например, на отрезке от 40 до 80 и между 120 и 150 неделями. Это значит, что денежные средства поглощаются быстрее, чем восполняются; в результате возникают значительные колебания уровня денежных средств, показанные на рис. 15-7.

В финансовом балансе на рис. 15-7 представлено взаимодействие между различными статьями оборотных средств. Уровень незавершенного производства возрастает и снижается примерно так же, как уровень численности рабочих на рис. 15-5.

На рис. 15-7 наиболее важно отметить, что увеличение и уменьшение общего запаса и уровня счетов к получению происходят одновременно. Особенно отчетливо это можно видеть в интервалах между 50 и 100 и между 120 и 180 неделями. Результат заключается в том, что как запасы, так и счета к получению одновременно поглощают денежные средства и снова превращаются в них. Это усиливает колебания состояния этих средств. После внесения изменений в правила управления системой в разделе 15.6 можно будет увидеть, что

[1] Ни рис. 15-5, ни диаграммы 15-6 и 15-7 в части финансовых данных не дают представления о действительных темпах отгрузки готовых изделий покупателями. Они имеют примерно ту же форму, что и кривая кассовых поступлений за счет продажи готовых изделий, если эту кривую передвинуть на 5 недель влево.



внесение случайных изменений в исходящий поток технического отдела покупателя).

кратковременные колебания запасов и дебиторской задолженности могут быть направлены в противоположные стороны, так что оборотные средства будут перемещаться между счетами к получению и запасами, в результате чего колебания величины потребных денежных средств уменьшатся.

15.1.6. Адекватность модели. Выводы разделов 15.1.1—15.1.5 дают представление о модели, поведение которой находится в соответствии с имеющимися сведениями о фактической системе. Уверенность в надежности модели основывается прежде всего на нашем знании отдельных частей системы. Однако этого было бы недостаточно, если бы модель демонстрировала поведение, несовместимое с фактической системой.

Обычно имеется мало достоверных данных, которые можно сравнить с моделью системы. Проверка состоит в рассмотрении всех сторон поведения модели, о которых можно судить по фактической системе. Одним из исследований является поиск элементов неправдоподобия в той части поведения модели, которая связана с принятием решений. Фазовые соотношения между переменными являются важными. Например, модель на рис. 15-4 и 15-5 показывает, что максимум запасов достигается после максимумов заказов и численности рабочих, как это наблюдалось в действительной системе и было показано на рис. 14-1. Как и в действительной системе, модель отражает колебания в производстве и численности рабочих, которые оказываются значительно интенсивнее изменений в

потоке заказов, получаемых покупателем от своих заказчиков (от правительства и частных фирм, потребляющих электронное оборудование). В колебаниях фактической системы наблюдаются периоды продолжительностью около двух лет; подобное же поведение свойственно и модели. Проверка допущений и общего действия модели, проведенная управляющими, которые хорошо знакомы с фактической системой, не обнаружила неправдоподобия в структуре, правилах и поведении, которое сделало бы модель непригодной для ее использования по назначению.

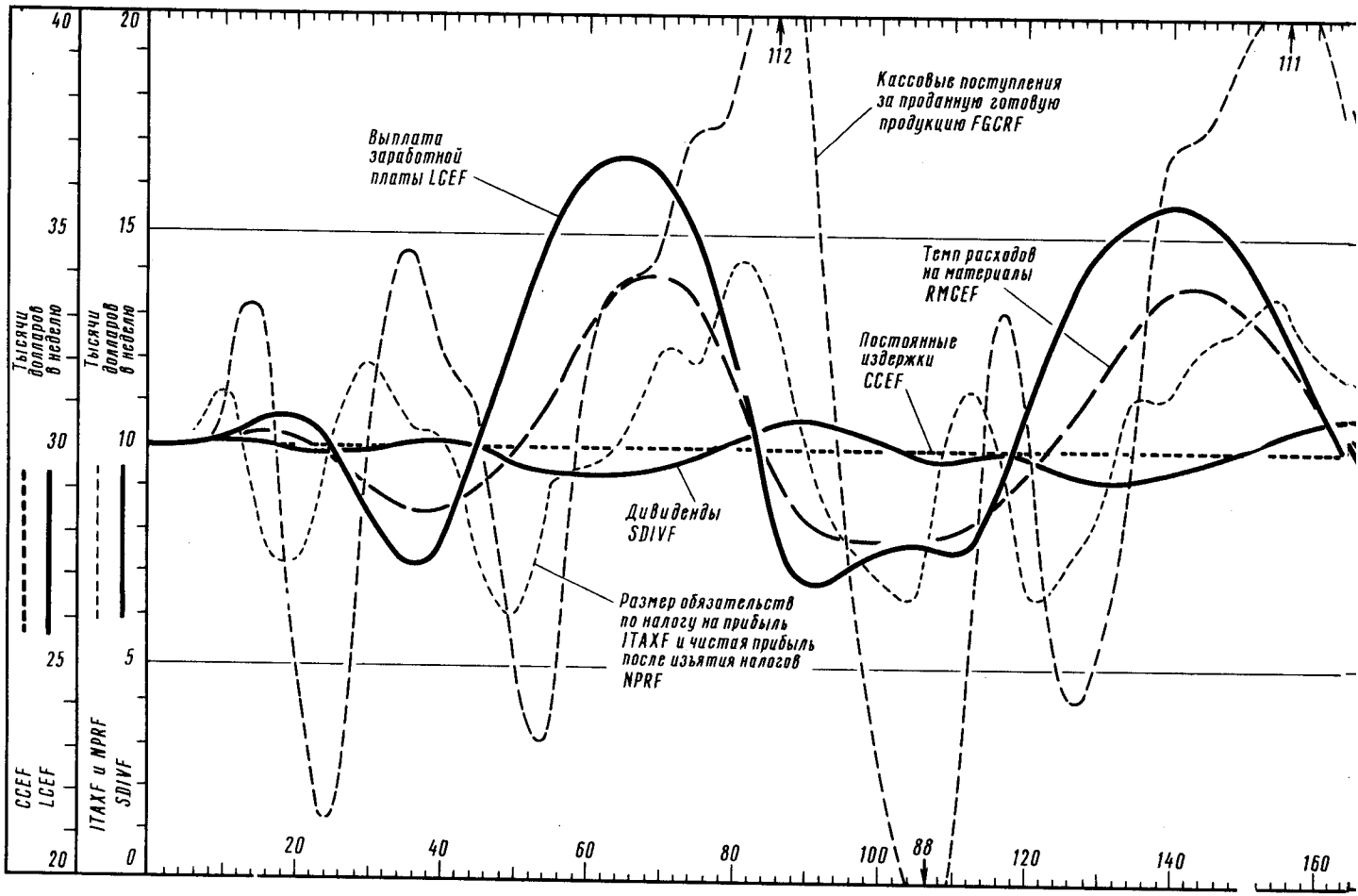
Все эти испытания не обнаружили ничего, что позволило бы считать модель непригодной для исследования поведения системы и дальнейшего изучения вопроса о ее перестройке. (Пригодность каждой модели следует рассматривать с точки зрения ее содержания. Например, в данном случае нет конкурирующего сектора, поэтому недопустима постановка каких-либо вопросов, относящихся к конкурентной борьбе между фирмами, если только рамки модели не будут расширены.)

Такого рода испытания весьма действенны, если их много и если они применяются, начиная с основы, с предположений об отдельных компонентах модели и далее идут через действия отдельных частей системы к ее общему поведению. Они не дают окончательных доказательств о полном соответствии модели и системы, и в данном случае нет неоспоримых способов сделать это. Однако они дают вполне достаточно оснований для продолжения дальнейшего исследования системы управления. Они дают более прочную и постоянную уверенность, чем та, которая лежит в основе большинства интуитивных решений управляющих.

15. 2. Изменения параметров прежней системы

После построения, переделки, испытания и совершенствования модели до такой степени,

Р и с. 15-6. Поток денежных средств на заводе (модель промышленного производства деталей электронного отдела покупателя).



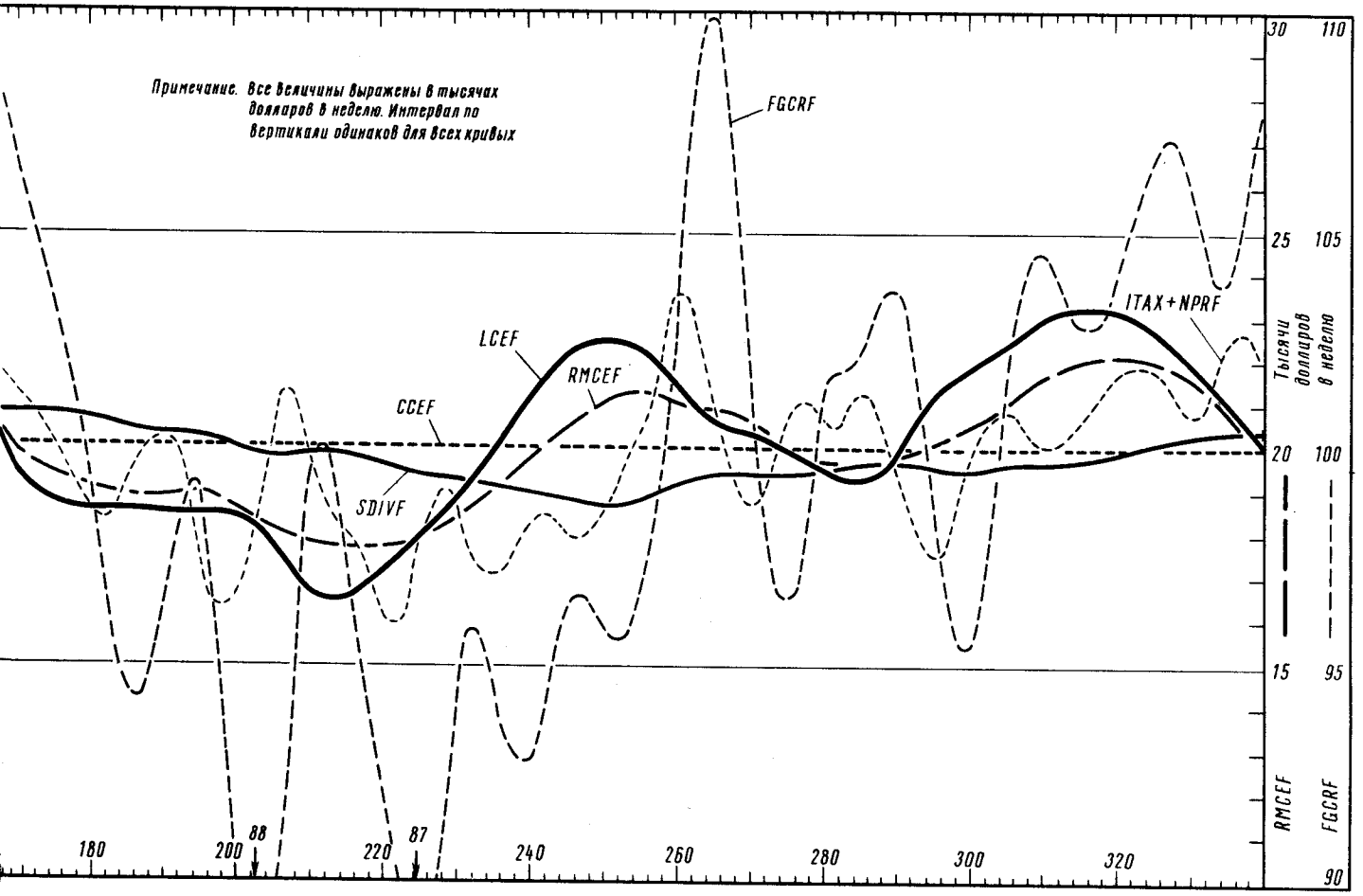
чтобы она стала удовлетворительно воспроизводить главные динамические характеристики изучаемой системы, представляет интерес рассмотрение влияния изменений в системе. Изучение изменений будет произведено в два приема. В этом разделе будет исследовано влияние изменения некоторых параметров модели, первоначальная величина которых была установлена в главе 14. Затем в разделе 15.3 будут изменены отдельные правила управления, чтобы добиться более желательного образа действия системы. Результаты этих изменений будут рассмотрены в разделе 15.4.

В силу ряда причин наибольший интерес представляют испытания модели при различных изменениях величины параметров и структуры модели. Очень важно изучить чувствительность поведения системы к изменениям ее различных компонентов. Это служит еще одной проверкой пригодности модели, поскольку изменения в поведении модели, вызванные внесенными в нее изменениями, представляется возможным во многих случаях сопоставить с действительной чувствительностью системы к аналогичным изменениям. Более важно сосредоточить внимание на разработке элементов системы в критических точках. Факторы, к которым система наиболее чувствительна, должны быть тщательно отрегулированы, иначе систему придется переработать для уменьшения ее чувствительности.

В следующем подразделе прокомментированы некоторые наименее важные параметры системы. В подразделе 15.2.2 будет рассмотрено и проиллюстрировано, каким образом изменяется действие системы, когда изменяются некоторые важные параметры в старых правилах регулирования численности рабочих.

15.2.1. Анализ чувствительности. Система, подобная той, которая разработана в главе 14, нечувствительна к изменениям большинства входящих в уравнения параметров. Анализ чувствительности будет обычно производиться путем увеличения параметров в 2 и более раза.

оборудования, старые руководящие правила, внесение случайных изменений в исходящий поток технического

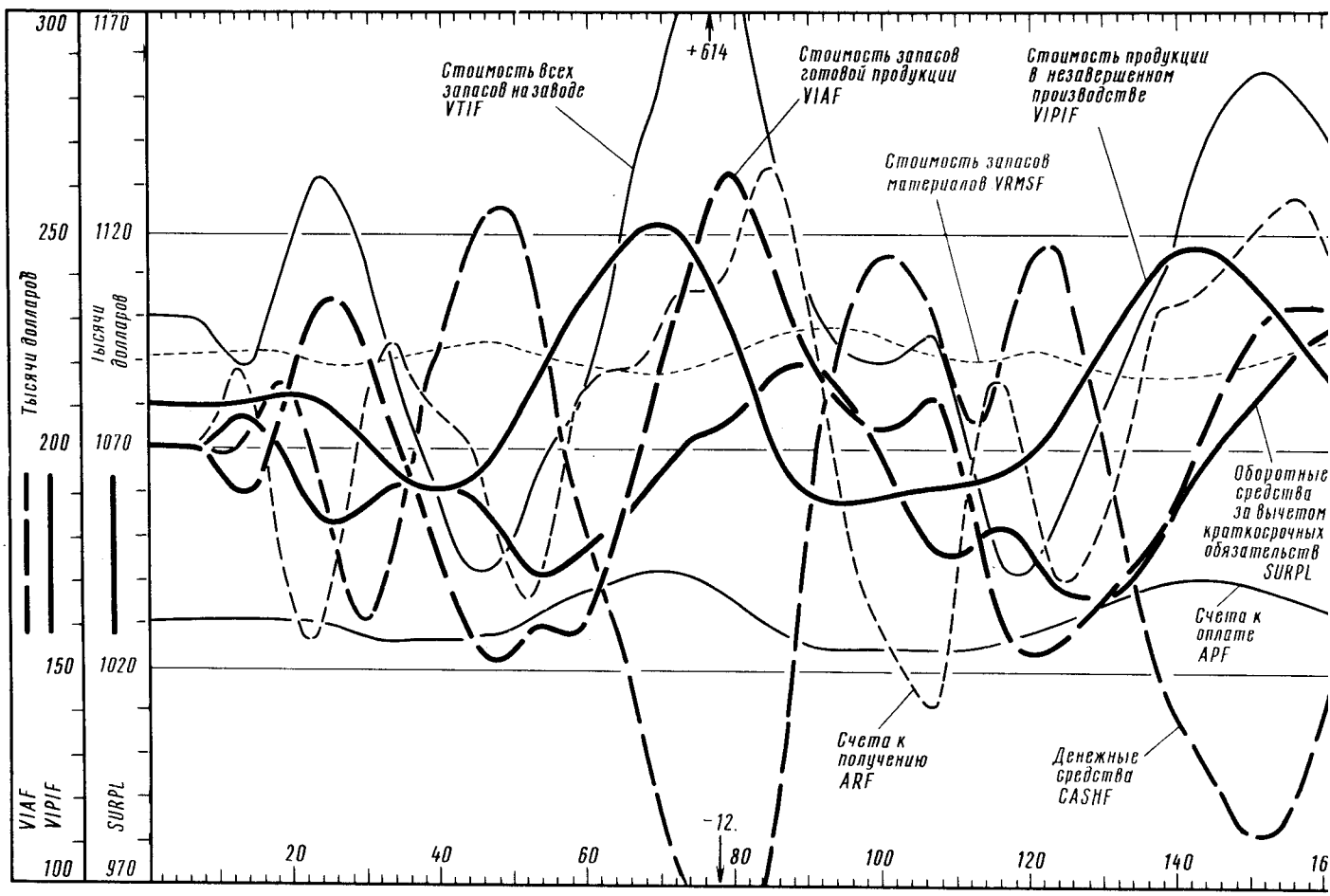


Изменения такого порядка часто не оказывают заметного влияния на поведение системы. Однако на ее поведении могут существенным образом отразиться изменения некоторых определенных факторов; они подробно освещаются как требующие особого внимания.

Модификации системы, производящие лишь слабый эффект, не оправдывают себя. Не следует забывать, что получаемые здесь выводы применимы только к данной системе. Переменные, которые с первого взгляда кажутся схожими, могут реагировать на изменения ввода в ряде других систем совершенно по-иному. И действительно, изменения системы, которые будут в дальнейшем рассмотрены в данной главе, существенно изменят влияние некоторых параметров на поведение системы.

Постоянное время усреднения *TRSF* в уравнении 14-20 может быть изменено с 15 до 25 недель без каких-либо ощутимых изменений в реакции системы, показанной на рис. 15-1. Равным образом, если изменить величину запаса *CIRF* в уравнении 14-19 с 4 до 10 недель, то реакция на скачкообразный ввод почти не изменится. Следует иметь в виду, что ни в одном из этих случаев запасы сколько-нибудь существенным образом не истощаются. В особых случаях, когда система начинает реагировать на недостаток имеющихся запасов, можно ожидать изменения реакции в зависимости от величины переходящего запаса. Доля заказов *CNFIF* на рис. 14-7, которые могут быть выполнены за счет запасов, может быть изменена с 0,7 до 0,5 и оказать при этом лишь незначительное воздействие. А это почти вдвое изменяет ту

Р и с. 15-7. Динамический бухгалтерский баланс завода (модель промышленного производства деталей электронного оборудова



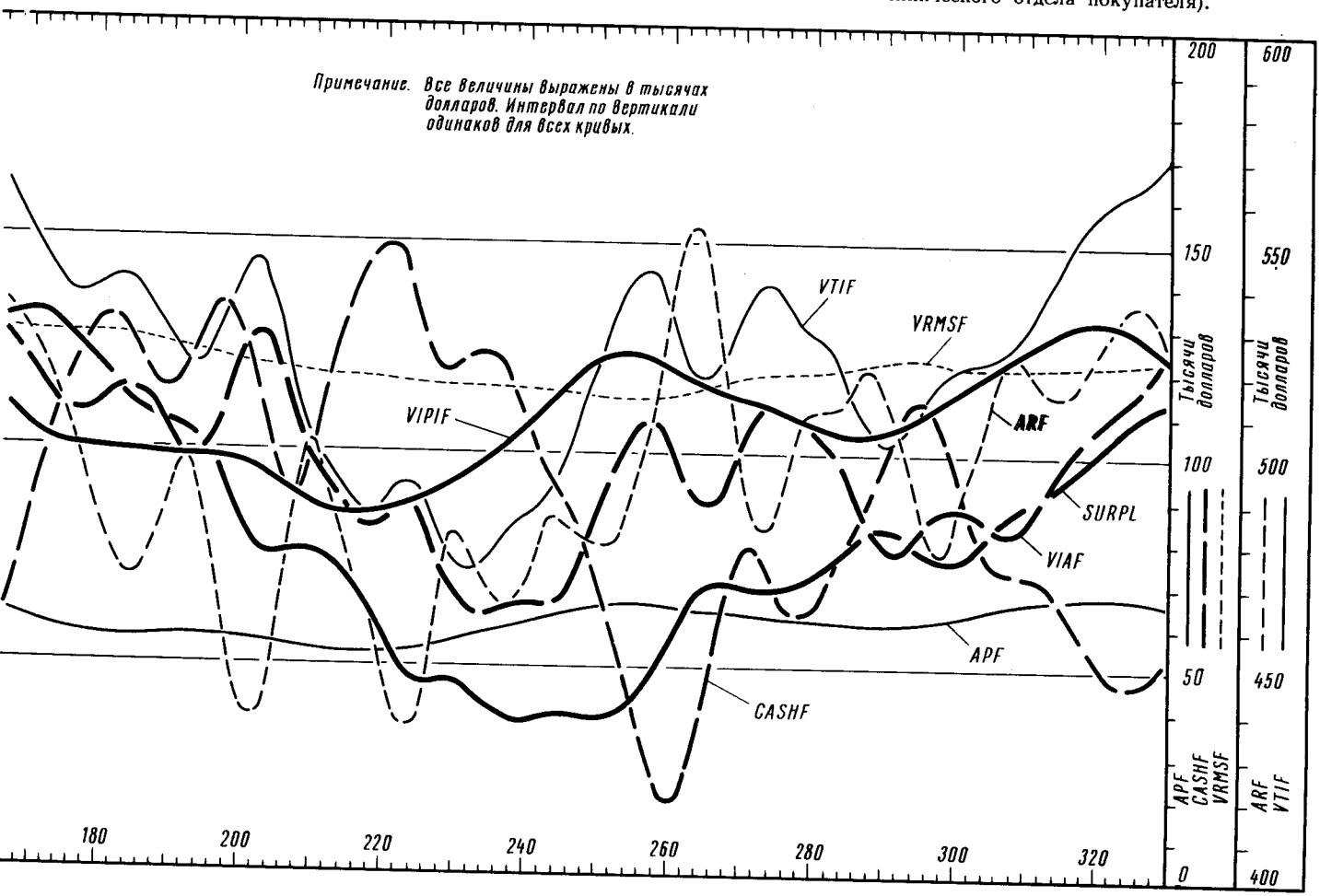
часть заказов, которая должна быть выполнена по заказам покупателя.

Случайные последовательности помех, отличающиеся от последовательности, используемой в диаграмме 15-5, порождают ряд совершенно иных, однако имеющих такой же характер кривых. Введение переменной помехи на выходе отдела снабжения покупателя в дополнение к изменению помехи на выходе технического отдела заказчика почти не влияет на систему.

В других пунктах система более чувствительна к изменениям. Наблюдается запаздывание реакции покупателя на заявленное запаздывание поставок при выполнении заказов. Это запаздывание проявляется в двух пунктах. Заявленное заводом запаздывание поставок отстает от действительных условий производства и состояния портфеля заказов, как это определено величиной $TAQDF$ в уравнении 14-83. Покупатель постепенно реагирует на заявленные условия поставок, как это определено величиной $TAEDC$ в уравнении 14-92. Если это запаздывание реакции покупателя на условия поставок уменьшится примерно в 3 раза, система становится значительно менее устойчивой. В ответ на 10-процентный скачкообразный ввод появляются устойчивые колебания с 8-процентной амплитудой и периодом в 90 недель. Это служит примером того, как уменьшение запаздывания нарушает стабильность поведения системы. Уменьшение устойчивости происходит в силу того, что покупатель слишком быстро реагирует на увеличение заводского портфеля заказов и продолжает давать заказы, еще более увеличивая заводской портфель заказов.

15.2.2. Скорость регулирования численности рабочих. Правила регулирования потоков ра-

ния, старые руководящие правила, внесение случайных изменений в исходящий поток технического отдела покупателя).



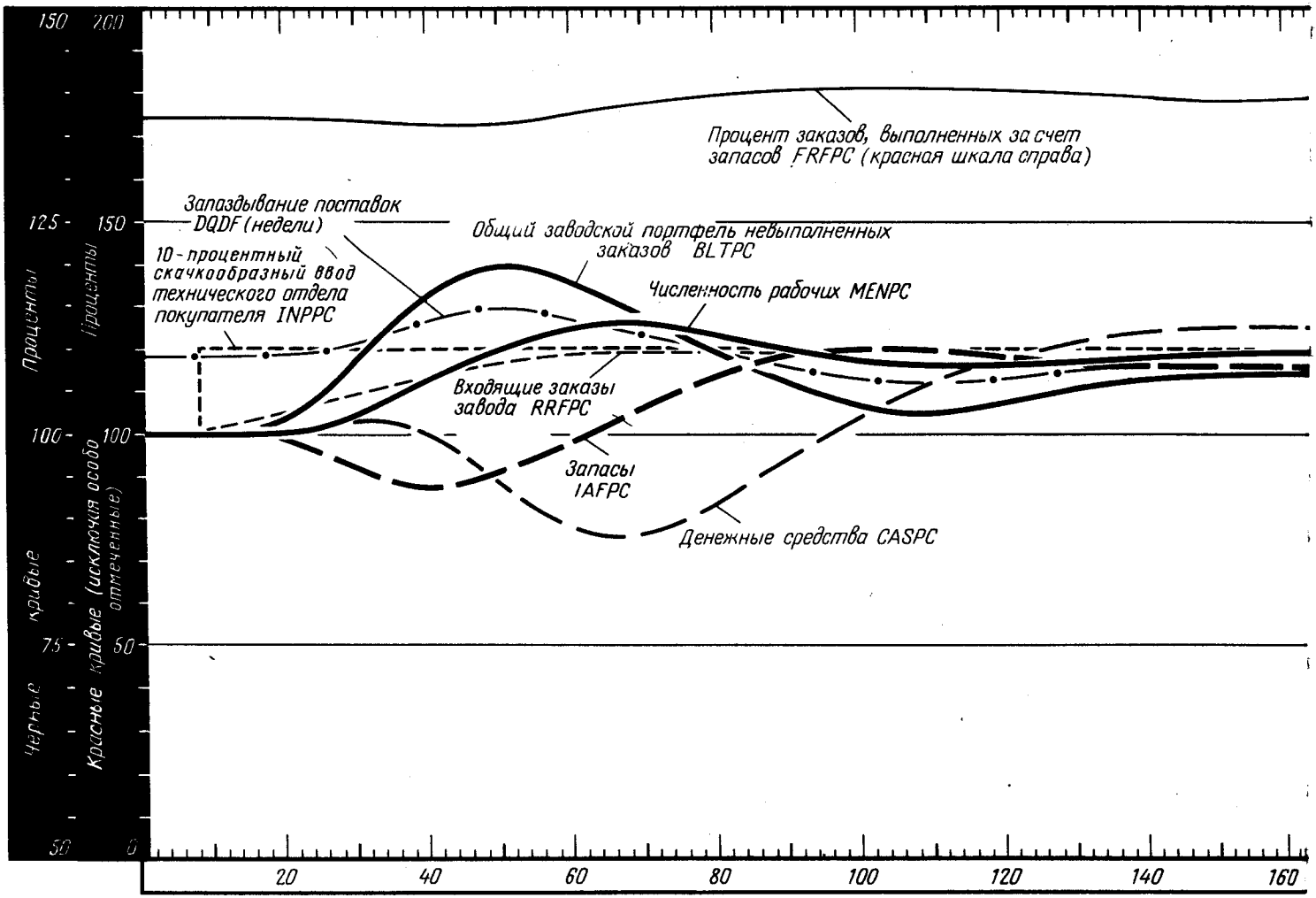
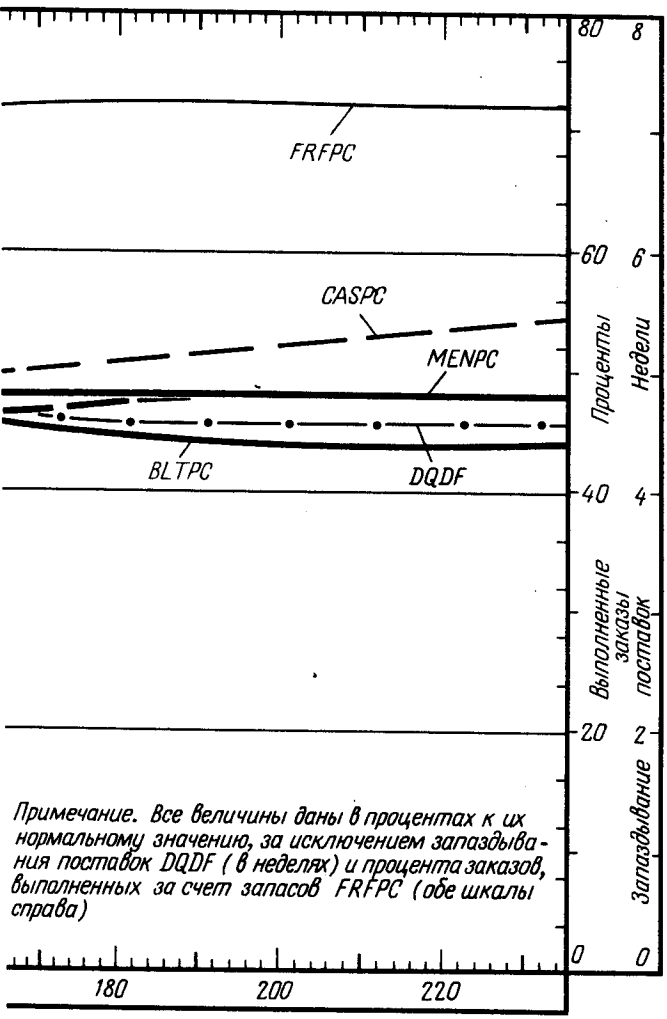


Рис. 15-8. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (старые руководящие правила, ускоренное и

бочей силы в рассматриваемой системе являются решающими для ее динамического поведения, так как они служат механизмом, с помощью которого регулируется темп производства с целью удовлетворения спроса на продукцию. Любые возможные правила в результате их длительного действия отрегулируют темп производства таким образом, что он будет соответствовать величине общего спроса, иначе запасы либо будут исчезать, либо беспредельно возрастать. Различия между правилами регулирования численности рабочих будут заключаться прежде всего в использовании разных источников информации и быстроте, с которой осуществляется регулирование.

Теперь нам предстоит исследовать некоторые результаты той решительности и быстроты, с которой осуществляются изменения численности рабочих. Это область, где большинство психологических факторов направлено на задержку действия. Если производство опережает спрос, то сочувствие к судьбе рабочих и нежелание нарушить тщательно разработанные планы снабжения и производства могут повлечь за собой отсрочку в изменении численности персонала. Легко надеяться, что условия, требующие сокращения производства, исчезнут и что можно будет «проскочить» через растущий кризис. При этом может возникнуть такая ситуация, когда нежелание действовать явится главным фактором появления неустойчивости системы. Нежелание сделать в настоящем не-



Примечание. Все величины даны в процентах к их нормальному значению, за исключением запаздывания поставок DQDF (в неделях) и процента заказов, выполненных за счет запасов FRFPC (обе шкалы справа)

менение численности рабочих, скачкообразное увеличение спроса).

большое сокращение числа рабочих может стать причиной еще большего сокращения в будущем.

Рис. 15-8 в сравнении с рис. 15-1 показывает влияние изменений времени регулирования численности рабочих, которое теперь производится в два раза быстрее [1]. Это значит, что при любых заданных условиях по численности рабочих, средних продаж и заводского портфеля заказов избыток или недостаток рабочей силы будет отрегулирован быстрее, чем прежде. Сравнение показывает, что более быстрое регулирование на рис. 15-8 ведет к более устойчивой системе, чем на рис. 15-1. В реакции на 10-процентное скачкообразное увеличение независимого ввода в технический отдел покупателя возмущения у поставщика деталей менее резки; начальные амплитуды колебаний заводского портфеля заказов, числа рабочих, запасов и денежных средств значительно уменьшаются. Более того, каждый последующий максимум в реакции, которая еще слегка изменяется, не превышают 15% от предыдущего максимума против 50% на рис. 15-1.

Возросшая устойчивость системы может быть объяснена тем, что численность рабочих приводится в соответствие со спросом более быстро. Портфель заказов и запасы не настолько выходят за пределы контроля, чтобы потребовались более решительные действия в отношении занятости и последующего восстановления поколебавшегося положения. Следует иметь в виду, что это является результатом изменения быстроты реакции в отношении численности рабочих при неизменности уровня запасов и портфеля заказов. В последующих разделах будут изменены правила, относящиеся к запасам и портфелю невыполненных заказов, после чего система перестанет быть столь чувствительной к темпу регулирования численности рабочих.

В системе имеется ряд других параметров, обладающих доминирующим влиянием на быстроту регулирования рабочей силы. Одним из них является время, необходимое для регулирования заводского портфеля невыполненных заказов, который может быть слишком большим или слишком малым.

Рис. 15-9 показывает результат удвоения продолжительности времени регулирования заводского портфеля невыполненных заказов [1], благодаря которому система стала менее устойчивой. Максимумы занятости рабочей силы появляются по истечении 84, 216 и 350 недель. Из диаграммы видно, что естественный период системы увеличился с первоначального значения 100 недель до приблизительно 134 недель. Значительно ослабел темп затухания возмущений; каждый последующий максимум численности рабочих составляет теперь 80% предыдущего максимума против 50%, как это представлено

[1] В данном случае уменьшается постоянная времени *TLCF* в уравнениях 14-72 и 14-75. Нормальное значение *TLCF*=10 неделям; для рис. 15-8 значение *TLCF*=5 неделям, остальные величины те же, что и на рис. 15-1.

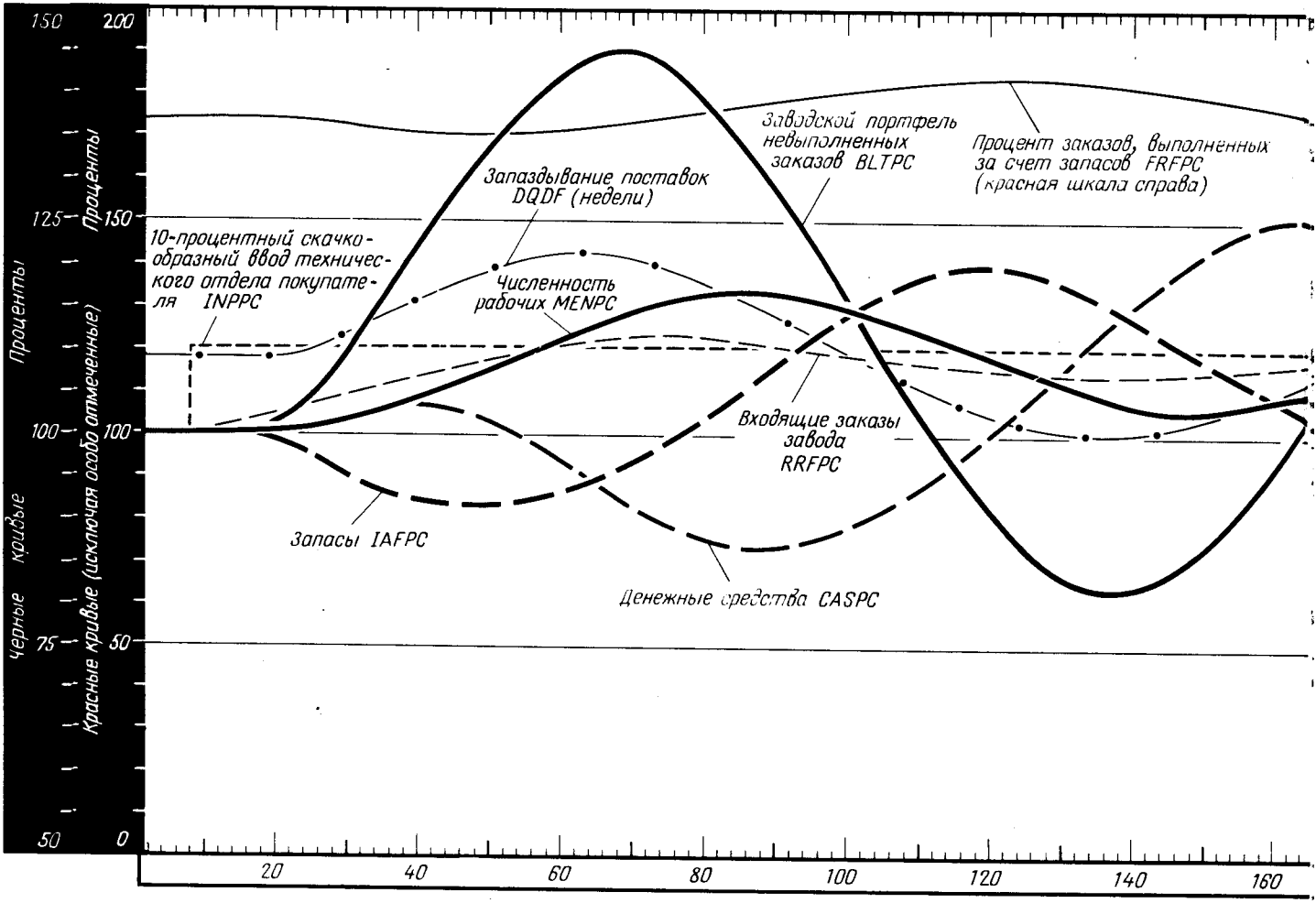
[1] Коэффициент *TBLAF* был введен в уравнение 14-68 в разделе 14.4 и показан на диаграмме 14-11. В главе 14 ему дано значение 20 недель. На рис. 15-9 *TBLAF* изменен до 40 недель.

на рис. 15-1, и 15% — на рис. 15-8. На рис. 15-9 более продолжительный период регулирования портфеля заказов влечет за собой большее запаздывание поставок. В результате покупатель увеличивает поток заказов заводу [1]. Эта система окажется более чувствительной, чем предыдущие, в отношении расстройств длительного порядка с периодами от двух до трех лет (например, таких, которые могут возникнуть от колебаний в общей экономике страны).

Если вернуться к рис. 15-2, на котором изображены темпы найма и увольнения, то можно видеть, что в системе непрерывно повторяются следующие один за другим периоды найма и увольнения рабочих. Между этими периодами нет промежуточной зоны, в которой уровень численности был бы постоянным. Когда такая система обсуждается на занятиях со студентами вузов или с руководителями предприятий, то обычно начинают высказывать сомнение относительно реальности подобного непрерывного перехода от найма к увольнению. Более того, часто высказываются соображения, что наличие периода неизменной численности рабочих окажет стабилизирующее влияние на систему и

[1] Здесь следует еще раз предостеречь от обобщения результатов исследования какой-либо системы, распространения их на другие системы. Например, в данной модели могут быть созданы такие комбинации параметров, которые окажутся вероятными в других производственных ситуациях и в которых сделанный выше вывод окажется неверным: более продолжительный период регулирования портфеля заказов будет увеличивать устойчивость системы. Представленные здесь результаты исследования определенной модели являются примером того, как следует изучать систему и что может получиться при изменении правил и структуры. Полученные результаты дают возможность предполагать, что в других системах окажутся сравнимые области совершенствования. Однако не следует делать вывод, что специфические результаты исследования будут одинаковыми.

Рис. 15-9. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (старые руководящие

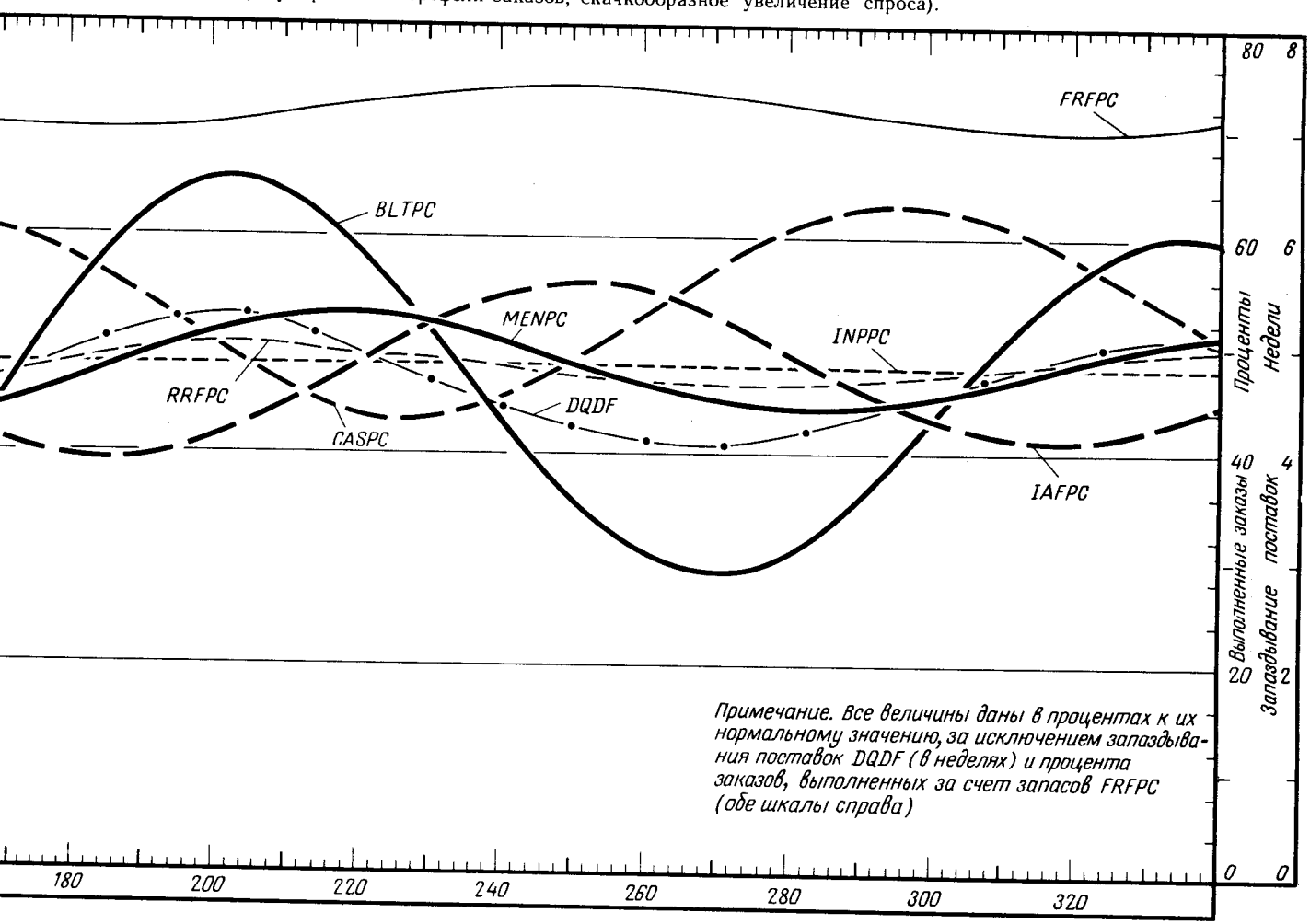


заглушит колебания, имевшие место на рис. 15-1 и 15-2.

В подразделе 14.4.5 допущена возможность образования «мертвой зоны» в динамике численности рабочих, как это показано на рис. 14-12. В соответствии с этим на модели было произведено проигрывание, при котором предполагалось, что численность рабочих не изменится, если разница в фактической и необходимой численности не превысит 2% (см. уравнение 14-70). Это довольно малый предел, и почти определенно можно сказать, что подобная «мертвая зона» существует в большинстве действительных случаев [1]. Результаты такого проигрывания показаны на рис. 15-10. Здесь, как и на рис. 15-1, был использован ступенчатый ввод в технический отдел покупателя, чтобы вызвать начальное возмущение и затем наблюдать возвращение системы к равновесию. На этот раз равновесие системы не восстановилось. В данном случае мы имеем дело с таким типом системы, который, как я полагаю, часто встречается в промышленных и экономических ситуациях. Система неустойчива при незначительных возмущениях и стабильна при крупных колебаниях. Двухпроцентная «мертвая зона» с постоянной численностью рабочих представляет собой весьма значительную часть любого изменения численности, которое может потребоваться при обычных небольших изменениях спроса на продукцию. Влияние этой двухпроцентной зоны становится менее существенным при возмущениях с большими амплитудами. В результате существования зоны неизменной численности рабочих возникает устойчивое колебание, амплитуда которого в из-

[1] Предел найма получается путем приравнивания $CLCTF=0{,}02$ в уравнениях 14-72 и 14-75. См. диаграмму на рис. 14-11.

правила, замедленное регулирование портфеля заказов, скачкообразное увеличение спроса).



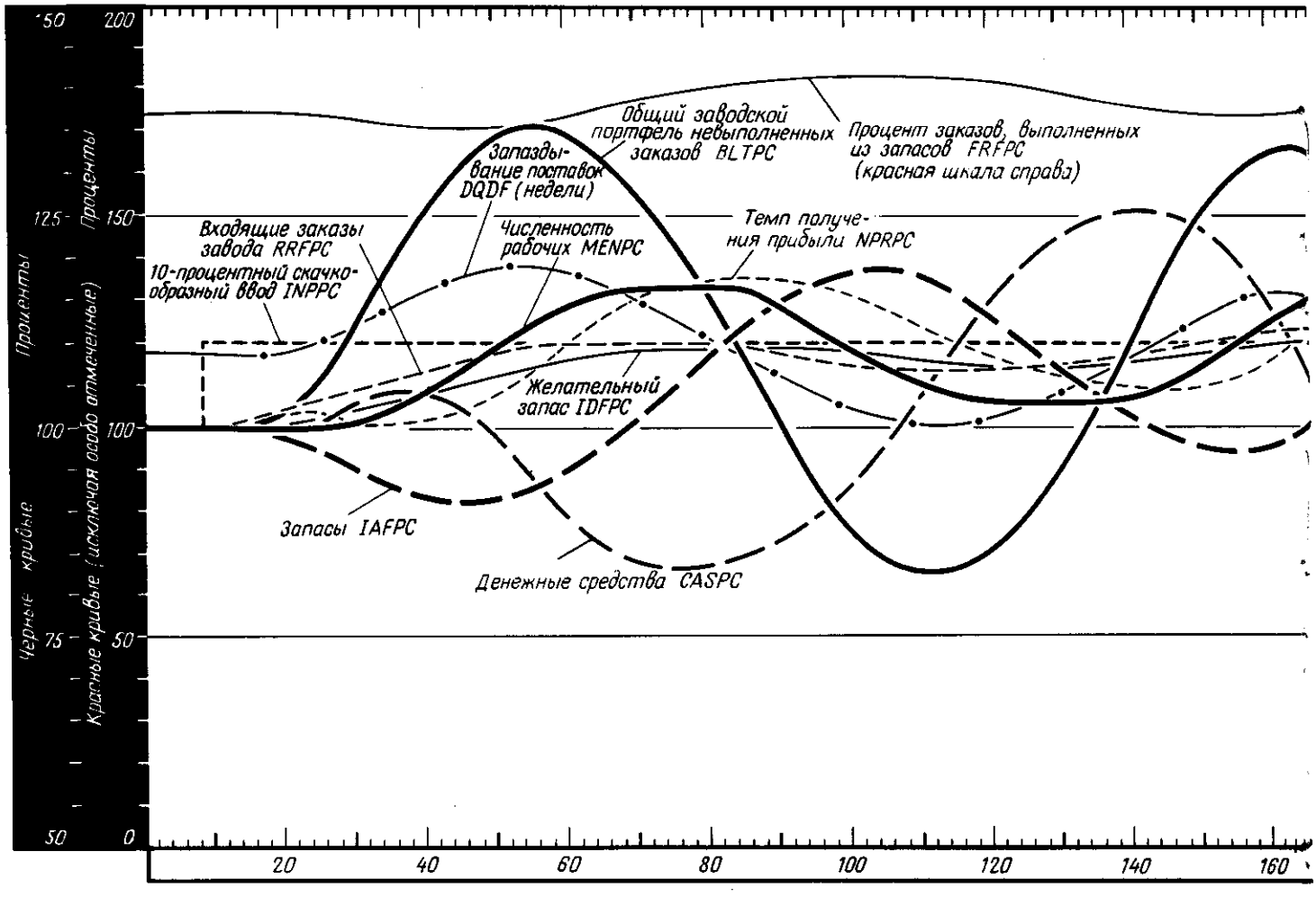
вестной мере определяется размерами этой зоны. Таким образом, в данном случае причиной колебания является запоздалая реакция при принятии решений, связанных с численностью рабочих. Что же касается других уже рассмотренных видов запаздываний при принятии решений, то из сравнения рисунков 15-1 и 15-8, а также 15-9 и 15-1 видно, что их влияние вредно отражается на системе [1].

На рис. 15-10 максимумы и минимумы кривой численности рабочих весьма растянуты в силу того, что в течение 10—12 недель в районе каждого экстремума численность остается неизменной. В результате численность рабочих оказывается слишком высокой в течение периода снижения потребности в продукции и слишком низкой в течение периода повышения потребности. Это приводит соответственно к образованию большого запаса и увеличению портфеля невыполненных заказов по сравнению с показанными на рис. 15-1.

Рис. 15-8, 15-9 и 15-10 показывают, что руководящие правила, относящиеся к изменению численности рабочих, могут оказывать большое влияние на устойчивость производства. Еще более поразительным является тот факт, что многие действия, предпринятые под влиянием доброй воли или под давлением профсоюзов и договоров, могут причинить больше вреда, чем пользы. Запаздывание принятия решений о небольших изменениях может привести впоследствии к неизбежности более крупных изменений. Опять-таки не следует распространять этот пример на другие ситуации, которые

[1] Снова следует предостеречь от обобщения, поскольку разделы 15.3 и 15.4 свидетельствуют, что определенные комбинации параметров при замедленной реакции приведут к существенному улучшению устойчивости системы.

Р и с. 15-10. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (старые руково дящие правила,



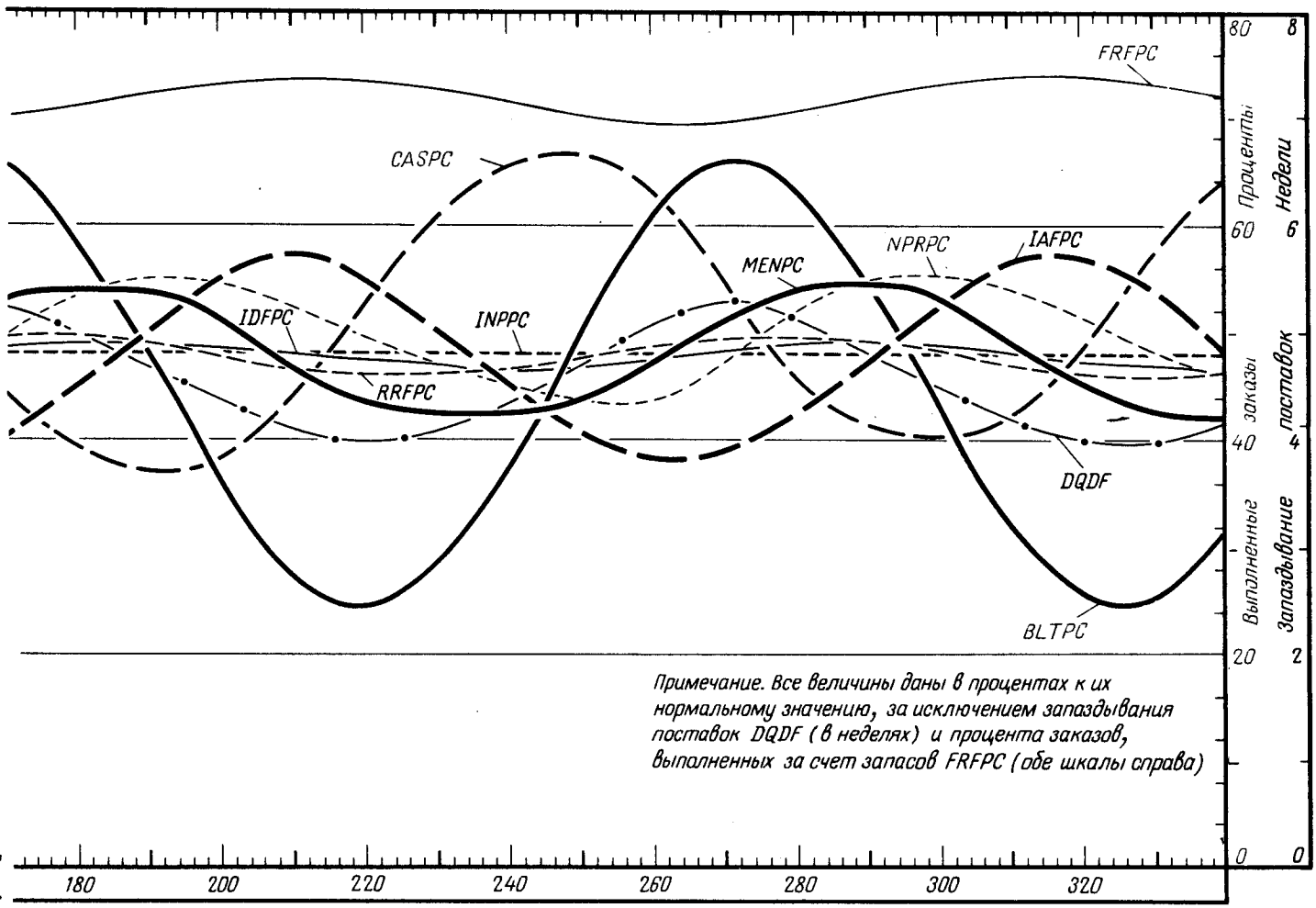
на первый взгляд могут казаться аналогичными, но в действительности будут совершенно различными. Однако здесь видно, как действия, предпринятые в какой-нибудь отдельной части промышленной системы, возможно на сессии, посвященной обсуждению коллективного договора, могут распространить свое влияние по всей системе. Более того, руководящие правила и практические действия, кажущиеся обоснованными с ограниченной точки зрения отдела труда, могут оказать вредное влияние на стабильность численности рабочих и на деятельность системы в целом, если они взаимодействуют определенным образом с другими частями системы.

Из предшествующих диаграмм вытекает, что исходная система чувствительна к запаздыванию принятия решений, касающихся численности рабочих. Эти запаздывания обычно не подвергаются тщательному рассмотрению или проверке, и поэтому динамика системы оказывается зависящей от случайных решений. Если чувствительность к этим факторам сохранится, то основные параметры должны тщательно контролироваться. Однако если есть возможность, то лучше всего перестроить систему таким образом, чтобы она перестала быть чувствительной к указанным факторам.

15. 3. Новые руководящие правила

В предыдущих разделах исследовались динамические характеристики модели, разработанной в главе 14. Модель была создана для того, чтобы отобразить деятельность реально существующей конкретной системы. Поведение модели обнаружило те же проблемы и трудности, которые имели место в действительной системе. Это поведение первоначально было объектом изучения, в результате которого мы

2-процентный период неизменной численности рабочих, скачкообразное увеличение спроса).



Примечание. Все величины даны в процентах к их нормальному значению, за исключением запаздывания поставок DQDF (в неделях) и процента заказов, выполненных за счет запасов FRFPC (обе шкалы справа)

установили, что модель удовлетворительно отображает систему как в отдельных уравнениях, из которых она построена, так и в общем характере ее действия. Для суждения о действии модели были использованы такие критерии, как естественный период колебаний и устойчивость, а также смещение фаз между входящими в модель переменными. Изменения параметров модели иной раз давали неожиданные результаты. Но эти изменения, будучи поняты, приводили к обоснованному заключению, что результаты в действительной системе были бы такими же.

Таким образом, мы почувствовали уверенность в том, что модель является достаточной основой для изыскания способов совершенствования системы. В подразделе 15.2.2 было показано, что более быстрая реакция в вопросах найма и увольнения несколько улучшает стабильность системы. Практические соображения, однако, ограничивают возможность получения значительных результатов в этом направлении. Далее, не следует ожидать, что основные улучшения в поведении модели последуют только в результате изменений значений тех параметров, которые уже включены в модель. Часто возможны более эффективные меры, связанные с изменением структуры модели; при этом могут изменяться не только параметры правил принятий решений, но и сама форма руководящих правил. Решения часто могут основываться на других, более действенных источниках информации.

Мы постараемся так видоизменить структуру и правила управления, чтобы они оказались применимыми на практике и привели к более эффективной деятельности моделируемой системы. Задача заключается в том, чтобы достичь большей устойчивости численности рабочей силы, уменьшить склонность системы к усилению определенных критических частот внешних возмущений, а также ослабить восприимчивость системы к внутренним и внешним случайным изменениям. Это должно быть сделано без создания неприемлемых запасов и без выделения денежных средств в количестве, которое превышает наличность или оказывается большим, чем полученная от усовершенствований экономия. Так как действия большинства промышленных систем значительно отличаются от возможного идеального образца, то резонно рассчитывать, что улучшения системы могут быть достигнуты без какой-либо компенсации за это: улучшение одного фактора может не повлечь за собой уплату штрафных сумм на каком-либо другом участке. Таково положение в данном случае. Изменяя в модели то, что легко может быть сделано в действительной системе, одновременно можно надеяться уменьшить колебания численности рабочей силы, снизить потребность в денежных средствах, добиться большего единообразия в запаздываниях поставок, стабилизировать портфель невыполненных заказов и сохранить запасы примерно на их современном удовлетворительном уровне.

В данном разделе будут развиты положения об изменениях, направленных к достижению некоторых из указанных улучшений. Обсуждаемое улучшение будет относиться к управлению запасами и изменению численности рабочих.

Следует сделать ряд замечаний относительно прежней системы:

— изменение уровня запаса недостаточно энергично сглаживают колебания продаж; получается обратное, так что численность занятых рабочих изменяется в большей мере, чем темп потребления продукции;

— как показано на рис. 14-8, управление запасами и их возобновление в известной мере не зависит от остальной части системы;

— общепринятый уровень запасов обычно подгоняется под средний объем продаж; если продажи увеличиваются, допустимо и считается желательным повышение уровня запасов. Если средний объем продаж уменьшается, запасы тщательно проверяются и сокращаются. Если запасы сокращаются в период делового подъема, создается опасение, что обслуживание покупателей ухудшится. Все эти точки зрения являются в достаточной мере обоснованными и лежат в основе общепризнанной практики. Рост продаж истощает запасы и в то же время делает целесообразным и, по-видимому, стимулирует их увеличение;

— система организована так, будто запасы являются непосредственно регулируемой переменной. Правила возмещения запасов существуют ради управления уровнями запасов. Организация системы и управляющие решения противоречат общеизвестной истине, что запасы не являются прямо регулируемым количеством. Запасы представляют собой аккумулированную разность между тем, что произведено, и тем, что поставлено покупателю. Полагая, что продажа и поставки происходят лишь в пределах возможного, следует считать, что запасы регулируются только путем регулирования темпов производства;

— изменения численности рабочих (рис. 14-11) первоначально производились в соответствии со средним уровнем продаж и состоянием заводского портфеля невыполненных заказов;

— прежде чем регулирование запасов повлияет на изменение численности, заказы на возмещение запасов должны найти отражение в заводском портфеле невыполненных заказов. Если проследить за потоком информации, начиная с запасов (рис. 14-6) к их возмещению (рис. 14-8) и далее к производственному портфелю заказов (рис. 14-9) и к изменениям занятости (рис. 14-11), то можно увидеть, что между заводскими запасами и рабочей силой находятся три вида запаздываний принятия решений и их исполнения. Для большинства фирм это не является необычным положением, если иметь в виду все этапы, которые связывают первоначальную информацию с изменениями темпов производства.

Все предшествующие соображения указывают на необходимость пересмотра потока информации, регулирующего изменения запасов и численности рабочих. Информация о запасах должна отразиться непосредственно в решениях об изменении численности, минуя промежуточный этап отражения в заводском портфеле заказов. Заказы на возмещение запасов не требуют прохождения по производству с тем, чтобы они там смешались с заказами покупателей. Если заказам покупателей дан быстрый ход и преимущество продвижения по производству, то они не задержатся долго в заводском портфеле заказов и окажут меньшее влияние на изменчивость запаздывания поставок.

В таких условиях можно предположить, что выпуск продукции в запас является, как он и должен быть, просто способом эффективного использования рабочей силы, не занятой производством изделий по спецификациям покупателя. На заводе должен иметься специальный каталог изделий, которые в первую очередь должны находиться в запасе; однако производство таких изделий не имеет ничего общего с производством продукции по заказам на возмещение запасов, которые обязывают завод к поставкам. Завод выпускает в запас столько изделий, сколько позволит сделать наличная рабочая сила. Регулирование потока изделий, поступающих в запас, производится путем регулирования численности рабочих.

В трех последующих подразделах указываются те изменения, которые необходимо внести в уравнения и в диаграммы потоков главы 14 в свете изложенных соображений.

15.3.1. Изменения в заказах на возмещения запасов. На рис. 15-11 показана диаграмма потоков, соответствующая новым руководящим правилам: эта диаграмма заменяет ранее приведенную диаграмму на рис. 14-8. В главе 14 расчет средних продаж производился по уравнению 14-20; оно использовалось как для определения нормативного уровня запасов, так и для выявления среднего темпа заводского производства. Нет оснований полагать, что время усреднения продаж будет одинаковым для этих обеих целей. Средние продажи из уравнения 14-20 будут по-прежнему использованы для определения заказов на основные материалы и численности рабочих, необходимых для обеспечения текущих продаж.

Для определения нормы запаса введем второе уравнение усреднения и вторую величину времени усреднения с таким расчетом, чтобы можно было выбрать отдельную константу времени усреднения:

$$RSF1.K = RSF1.J + \frac{DT}{TRSF1} \times$$

$$\times (RRF.JK - RSF1.J), \qquad 15\text{-}1,\ L$$

$$RSF1 = RRF, \qquad 15\text{-}2,\ N$$

где

$RSF1$ — усредненные требования на заводе для сохранения нормативного уровня запасов (единицы в неделю);

$TRSF1$ — время усреднения требований на заводе (недели);

RRF — темп поступления требований на завод (единицы в неделю).

Уравнение 15-1 по форме идентично уравнению 14-20; добавлена лишь одна цифра, чтобы обозначить новую переменную.

Желательный запас определен так же, как в уравнении 14-19, однако здесь используется новое значение средних продаж:

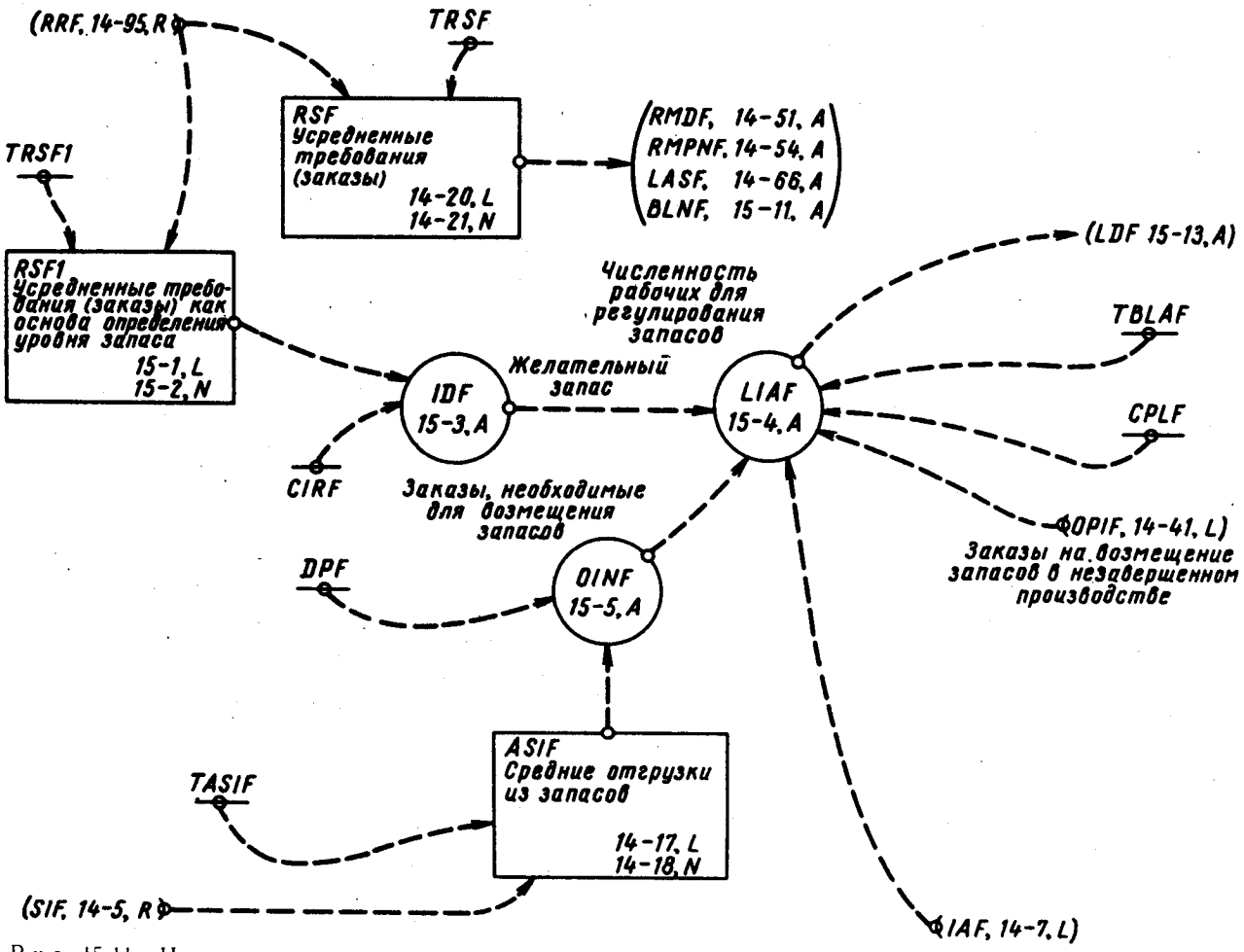
$$IDF.K = (CIRF)(RSF1.K), \qquad 15\text{-}3,\ A$$

где

IDF — желательный запас на заводе (единицы);

$CIRF$ — коэффициент относительного запаса на заводе (недели);

$RSF1$ — усредненные требования на заводе для сохранения нормативного запаса (единицы в неделю).



Р и с. 15-11. Новые правила управления агрегированными запасами.

Существенное изменение, которое следует сделать, заключается в том, что агрегированный запас не должен более регулироваться отдельными независимыми заказами на возмещение запаса того или иного вида изделия. Управление общим агрегированным запасом должно осуществляться теперь путем регулирования численности рабочих, и в этих рамках порядок расположения в каталоге покажет заводу, производство каких изделий является предпочтительным. Следовательно, руководящие правила теперь будут устанавливать численность рабочих, необходимую для регулирования уровня запасов:

$$LIAF.K = \left(\frac{1}{TBLAF}\right)\left(\frac{1}{CPLF}\right)(IDF.K - IAF.K + OINF.K - OPIF.K), \qquad 15\text{-}4,\ A$$

где

LIAF — численность рабочих для регулирования запаса на заводе (человек);

TBLAF — время регулирования заводского портфеля невыполненных заказов (недели);

CPLF — константа, производительность труда на заводе (единицы за человеко-неделю);

IDF — желательный запас на заводе (единицы);

IAF — фактический запас на заводе (единицы);

OINF — заказы, необходимые для возмещения запаса на заводе (единицы);

OPIF — заказы на возмещение запаса в незавершенном производстве (единицы).

Последний, взятый в скобки член уравнения 15-4 дает разность между желательным и действительным состоянием запасов и разность между необходимыми и фактическими заказами на возмещение запасов в незавершенном производстве. Если сумму этих разностей разделить на производительность труда, то мы получим число человеко-недель работы, которые необходимо затратить, чтобы отрегулировать запас. После деления полученного результата на время регулирования запаса будет определена численность рабочих, необходимая для этого регулирования. Поскольку запас и заводской портфель невыполненных заказов во многих отношениях противостоят друг другу, то для коррекции последнего используется та же постоянная времени регулирования. Информация, получаемая из уравнения 15-4, используется непосредственно при решении вопроса о численности рабочих (уравнение 15-13).

В производственном секторе теперь больше формально не остается невыполненных заказов на возмещение запаса, поэтому прежнее уравнение 14-22 должно быть модифицировано:

$$OINF.K=(ASIF.K)(DPF), \qquad 15\text{-}5,\ A$$

где

OINF — заказы, необходимые для возмещения запаса на заводе (единицы);
ASIF — средние отгрузки из запасов завода (единицы в неделю);
DPF — производственное запаздывание (недели).

Уравнение 15-5 отображает нормальный процесс производства изделий в запас, представляя его в виде произведения среднего темпа использования заводских запасов на производственное запаздывание.

В действительности новые уравнения, ссылки на которые даются на рис. 15-11, не отображают более выдачу заказов на возмещение запаса в обычном смысле этого слова. Они становятся элементами новых правил управления численностью рабочих. Ответственность за весь совокупный запас теперь сосредоточивается в той точке организации, где действует центральная система управления. На складе эта ответственность приобретает форму определения первоочередности возмещения запаса того или иного вида продукции на основе уровня запаса и темпа его расходования. Склад регулирует последовательность изготовления товаров, но не общее количество подлежащих изготовлению товаров для возмещения запаса.

15.3.2. Изменения в производственном подразделении. Теперь мы упростим в соответствии с рис. 15-12 основную информацию и систему управления в той части модели, которая отображает производственное подразделение. В измененной системе будет сохранена нормальная продолжительность распределения и подготовки специальных заказов к запуску в производство; для выполнения этих заказов вначале мы располагаем всеми ресурсами завода. Оставшийся излишек рабочей силы в этом случае используется для производства изделий в запас. Завод теперь не обязан выпускать все количество изделий, которое было заказано для запаса; он определяет объем производства для пополнения запасов в зависимости от наличия свободной рабочей силы после выполнения обязательств по обеспечению специальных заказов покупателей.

$$LDCOF.K=\frac{BLCF.K}{(DNBLF)(CPLF)}, \qquad 15\text{-}6,\ A$$

$$LCOF.K=\begin{cases} LDCOF.K, & \text{если } MENPF.K\geqslant \\ & \geqslant LDCOF.K, \\ MENPF.K, & \text{если } MENPF.K,< \\ & <LDCOF.K, \end{cases} \qquad 15\text{-}7,\ A$$

где

LDCOF — желательная численность рабочих для выполнения заказов покупателей (человек);
BLCF — портфель невыполненных заказов покупателей на заводе (единицы);
DNBLF — запаздывание в нормальном портфеле заказов (недели);
CPLF — константа, производительность труда на заводе (единицы за человеко-неделю);
LCOF — численность рабочих для выполнения заказов покупателей (человек);
MENPF — численность рабочих на заводе (человек).

Уравнение 15-6 показывает, что если для работы по имеющимся заказам покупателей будут привлекаться рабочие в количестве, пропорциональном размерам портфеля невыполненных заказов, то запаздывание в портфеле заказов будет сохраняться неизменным. Количество изделий, подлежащее выпуску согласно

портфелю заказов, делится на производительность труда, в результате чего получается число человеко-недель, необходимое для выполнения портфеля заказов; разделив полученную величину на нормальную продолжительность подготовки заказов к запуску в производство, получим необходимую численность рабочих. Уравнение 15-7 корректирует эту величину, исходя из фактической численности рабочих, и наименьшее их число (требуемое или фактически имеющееся) привлекается к работам по выполнению заказов покупателей.

Выпуск продукции по заказам покупателей при этом составляет:

$$PCOF.KL=(LCOF.K)(CPLF), \qquad 15\text{-}8,\ R$$

где

PCOF — производство продукции по заказам покупателей (единицы в неделю);
LCOF — численность рабочих для выполнения заказов покупателей (человек);
CPLF — константа, производительность труда на заводе (единицы за человеко-неделю).

Оставшиеся рабочие, не занятые выполнением заказов покупателей, могут быть привлечены для производства изделий в запас:

$$LIF.K=MENPF.K-LCOF.K, \qquad 15\text{-}9,\ A$$
$$PIF.KL=(LIF.K)(CPLF), \qquad 15\text{-}10,\ R$$

где

LIF — численность рабочих для производства в запас (человек);
MENPF — численность рабочих на заводе (человек);
LCOF — численность рабочих для выполнения заказов покупателей (человек);
PIF — темп запуска в производство изделий для запаса (единицы в неделю);
CPLF — константа, производительность труда на заводе (единицы за человеко-неделю).

На рис. 15-12 не показан поток инструктивных указаний, определяющих спецификацию изделий, изготовляемых в запас за счет использования свободной рабочей силы. Способ определения ассортимента подлежащих выпуску изделий не повлияет на динамическое поведение системы. Предполагается, что изделия выбираются так, чтобы при выполнении заказов покупателей запасы использовались с наибольшей выгодой. Зависимость, показанная на рис. 14-7, продолжает управлять той частью заказов покупателей, которые выполняются за счет запасов.

Уровень общей численности рабочих определяется в той точке, где регулируется динамика всей системы. Подбор необходимых для эффективного производства рабочих лежит на ответственности руководителей завода.

15.3.3. Изменения в найме рабочих. Наем рабочей силы теперь, как и раньше, будет исходить из уровня средних продаж и потребности в рабочей силе для регулирования задолженности по заказам. Однако дополнительно в решение о численности рабочих будет включена потребность в рабочей силе для регулирования агрегированного запаса готовых изделий. Новая диаграмма потоков показана на рис. 15-13.

Нормальный заводской портфель невыполненных заказов содержит теперь только ту часть потока заказов, которая выполняется по специальным требованиям покупателей; уравнение 14-67 в связи с этим должно быть заменено следующим образом:

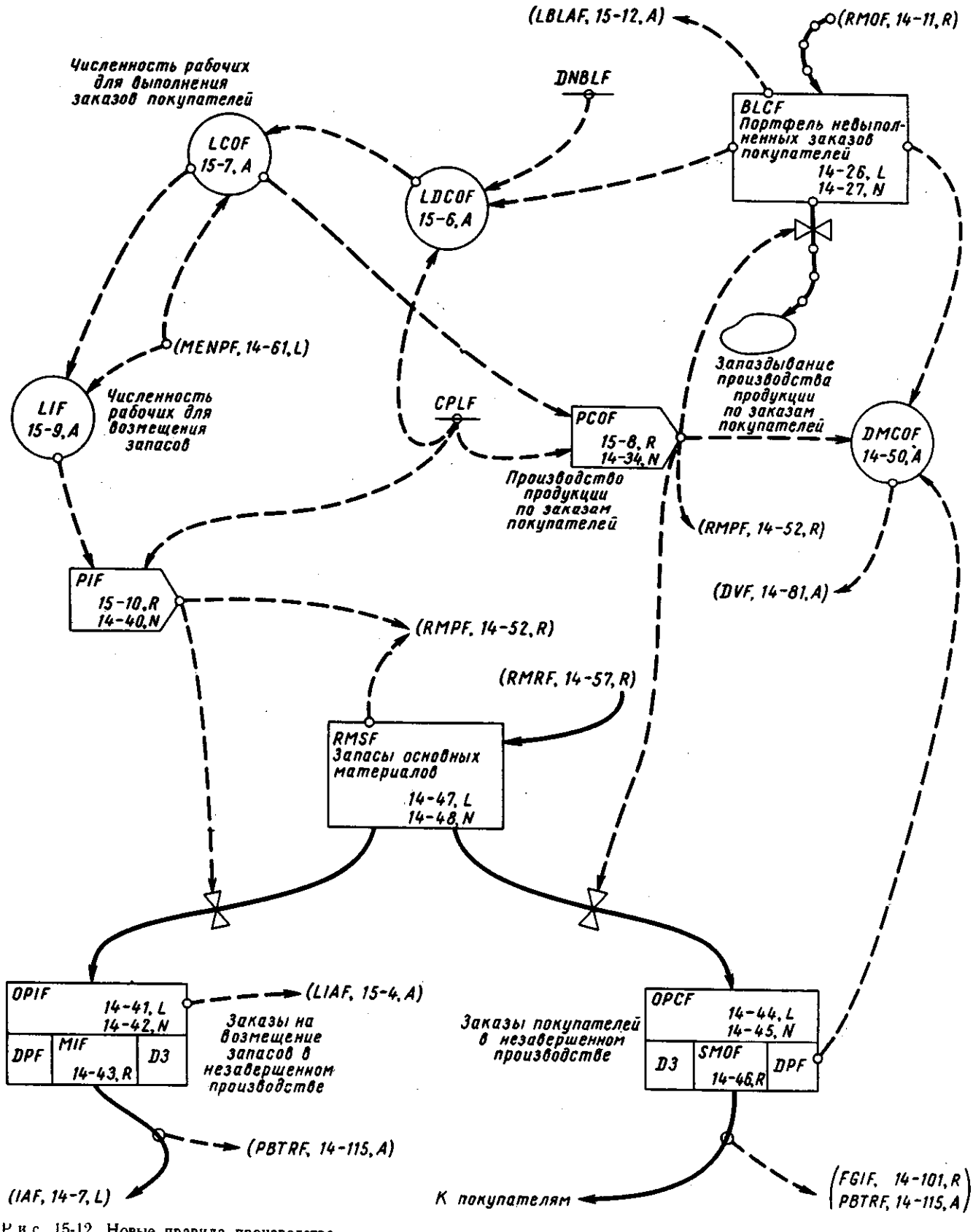
$$BLNF.K=(RSF.K)(1-CNFIF)(DNBLF), \qquad 15\text{-}11,\ A$$

где

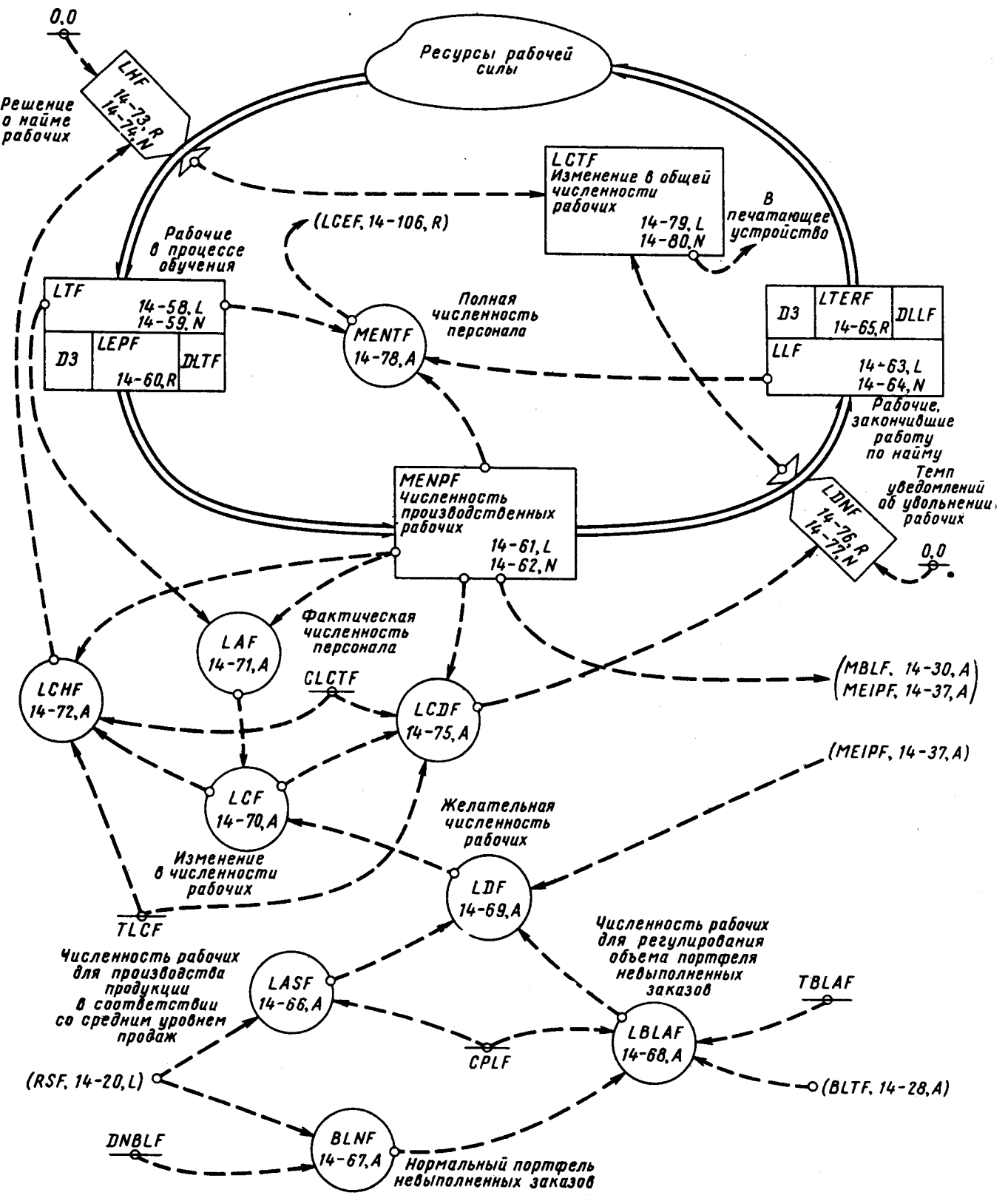
BLNF — нормальный портфель заказов на заводе (единицы);
RSF — средний темп требований на заводе (единицы в неделю);
CNFIF — константа, нормальная часть требований, которая удовлетворяется за счет заводских запасов (безразмерная величина);
DNBLF — запаздывание в нормальном портфеле заказов (недели).

Уравнение 14-68, регулирующее портфель заказов, должно быть пересмотрено, так как оно относится не ко всему портфелю заказов, а должно представлять только ту часть, которая относится к заказам покупателей:

$$LBLAF.K=\left(\frac{1}{TBLAF}\right)\left(\frac{1}{CPLF}\right)\times$$
$$\times(BLCF.K-BLNF.K), \qquad 15\text{-}12,\ A$$



Р и с. 15-12. Новые правила производства.



Р и с. 15-13. Новые правила управления потоком рабочей силы.

где

LBLAF — численность рабочих для регулирования заводского портфеля невыполненных заказов (человек);

TBLAF — время регулирования заводского портфеля невыполненных заказов (недели);

CPLF — константа, производительность труда на заводе (единицы за человеконеделю);

BLCF — портфель невыполненных заказов покупателей на заводе (единицы);

BLNF — нормальный портфель невыполненных заказов на заводе (единицы).

Раньше численность требуемой рабочей силы определялась численностью рабочих, необходимой для сохранения среднего темпа продаж и регулирования портфеля заказов за вычетом излишка продукции, изготовляемой в запас. В пересмотренной системе необходимая численность рабочих определяется требованиями обеспечить сохранение среднего темпа продаж, отрегулировать заводской портфель заказов и выделить определенное число рабочих для изготовления запаса готовых изделий:

$$LDF.K=LASF.K+LBLAF.K+LIAF.K, \qquad 15\text{-}13,\ A$$

где

LDF — желательная численность рабочих (человек);

LASF — численность рабочих для поддержания среднего темпа продаж (человек);

LBLAF — численность для регулирования заводского портфеля невыполненных заказов (человек);

LIAF — численность рабочих для регулирования запасов на заводе (человек).

Таким образом, решения относительно численности рабочих являются теперь единственными, от которых зависит динамическое поведение системы. Правила регулирования численности определяют уровень запаса и порядок его изменения. Определение численности рабочих непосредственно на основе других переменных системы устраняет прежнюю последовательность запаздываний при выдаче заказов на возмещение запаса и в портфеле невыполненных заказов. Для введения этих изменений нам не понадобилось изыскивать новые источники информации; был изменен лишь порядок ее использования.

Этим исчерпываются изменения в системе управления и в правилах принятия решений, которые мы намеревались рассмотреть в данной книге.

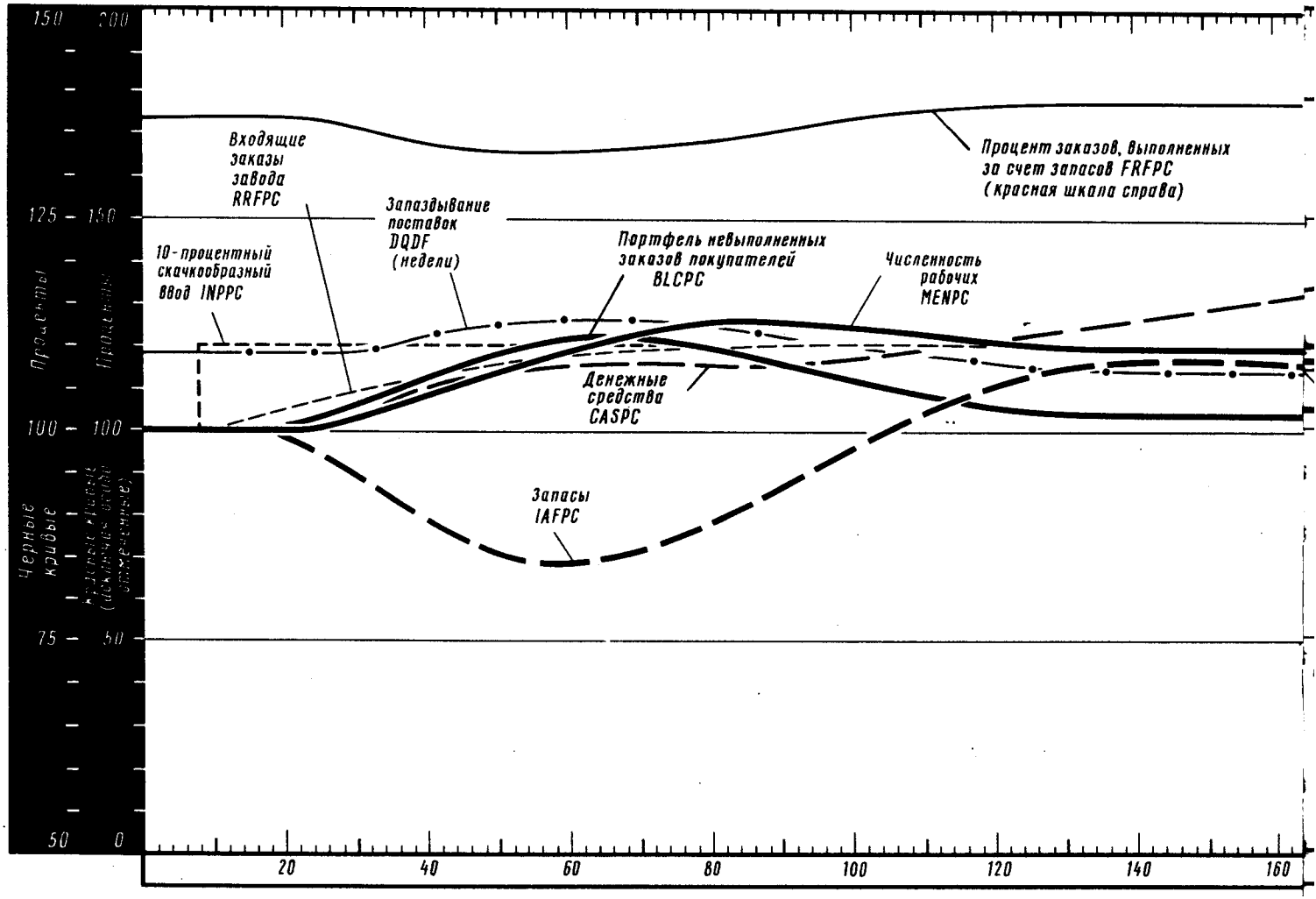
В следующем разделе будут исследованы результаты этих структурных изменений с использованием, как и прежде, ряда числовых значений параметров [1]. В разделе 15.5 будут сделаны некоторые изменения значений параметров, и, наконец, конечные результаты применения новых руководящих правил и новых значений параметров будут приведены в разделе 15.6.

15. 4. Результаты применения новых руководящих правил

Для выявления эффекта, который дает применение новых руководящих правил, было выполнено проигрывание измененной модели при тех же условиях, что и в разделе 15.1, где определялось динамическое поведение старой системы; значения параметров оставлены такими же, что и в исходной системе.

На рис. 15-14 показана новая система в условиях 10-процентного внезапного увеличения заказов на вводе в агрегированный технический отдел покупателя. Приведенные графики следует сравнить с графиками на рис. 15-1. На рис. 15-14 численность рабочих увеличивается на 25% по сравнению с вводом заказов, в то время как на рис. 15-1 увеличение составляло 50%. Тенденция к циклическому взаимодействию между покупателем и поставщиком с периодом в два года почти исчезла. В то время как на рис. 15-1 колебания численности рабочих снижались наполовину в каждом последующем цикле, на рис. 15-14 они уменьшаются всего на 7%. На рис. 15-14 влияние первоочередности изготовления продукции по заказам покупателей проявляется в значительно меньшем увеличении заводского портфеля заказов и более длительном и несколько более глубоком снижении уровня запасов. Запасы в данном случае регулируются уравнением 15-4, в котором постоянная времени восстановления составляет 20 недель. На рис. 15-1 заказы на возмещение запасов регулировались уравнением 14-15, в

[1] Новому параметру *TRSF*1 (уравнение 15-1) сначала дается такое же значение (15 недель), как и подобному ему параметру *TRSF*. Новое значение будет дано в разделе 15.5.

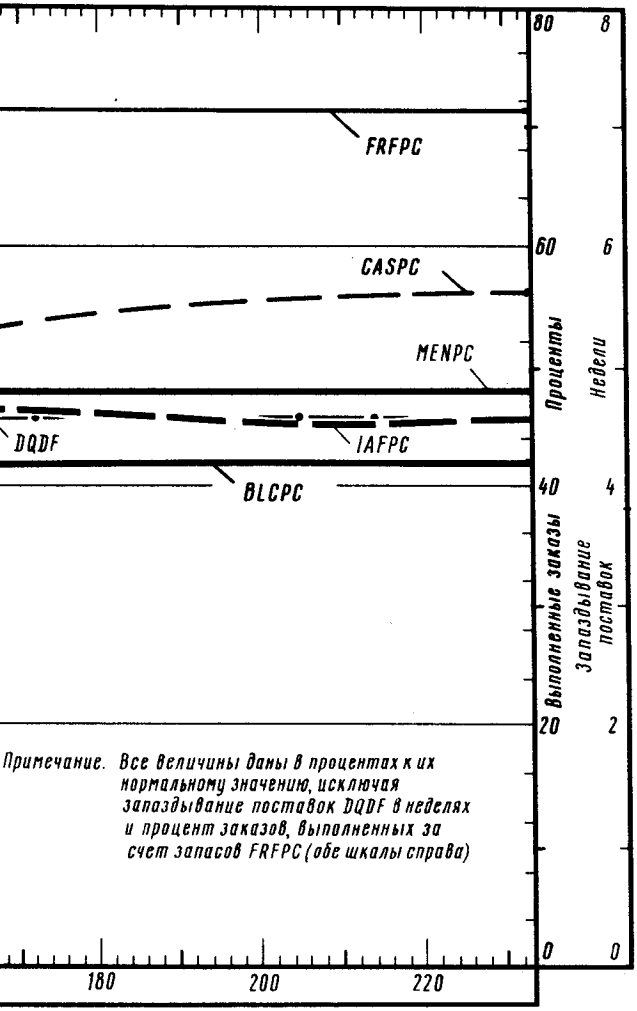


Р и с. 15-14. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (новые руководящие правила,

котором постоянная времени восстановления запасов *TIAF* составляла 6 недель, а запасы поглощали изделия, которые на рис. 15-14 служат для выполнения заказов покупателей и помогают снижать объем портфеля заказов.

Эта более медленная перестройка запасов, первоначально истощенных увеличением числа заказов, приводит к ряду последствий. Она определяет меньшую величину максимума требуемой численности рабочих, которые как раньше, так и теперь используются прежде всего для перестройки запасов. На рис. 15-1 регулирование запасов произведено более быстро благодаря более высокому темпу производства, чем это представлено на рис. 15-14, где максимальная численность рабочих меньше, и поэтому восстановление запасов растянуто на более длительный период.

Другое примечательное различие можно заметить в динамическом поведении наличных денежных средств. На рис. 15-1 наличные средства увеличиваются в течение короткого периода, затем резко снижаются, поскольку происходит накопление запасов и увеличение числа счетов к получению. На рис. 15-14 максимумы расходов на рабочую силу и закупки материалов несколько ниже. В результате на рис. 15-14



Примечание. Все величины даны в процентах к их нормальному значению, исключая запаздывание поставок DQDF в неделях и процент заказов, выполненных за счет запасов FRFPC (обе шкалы справа)

прежние параметры, скачкообразное увеличение спроса).

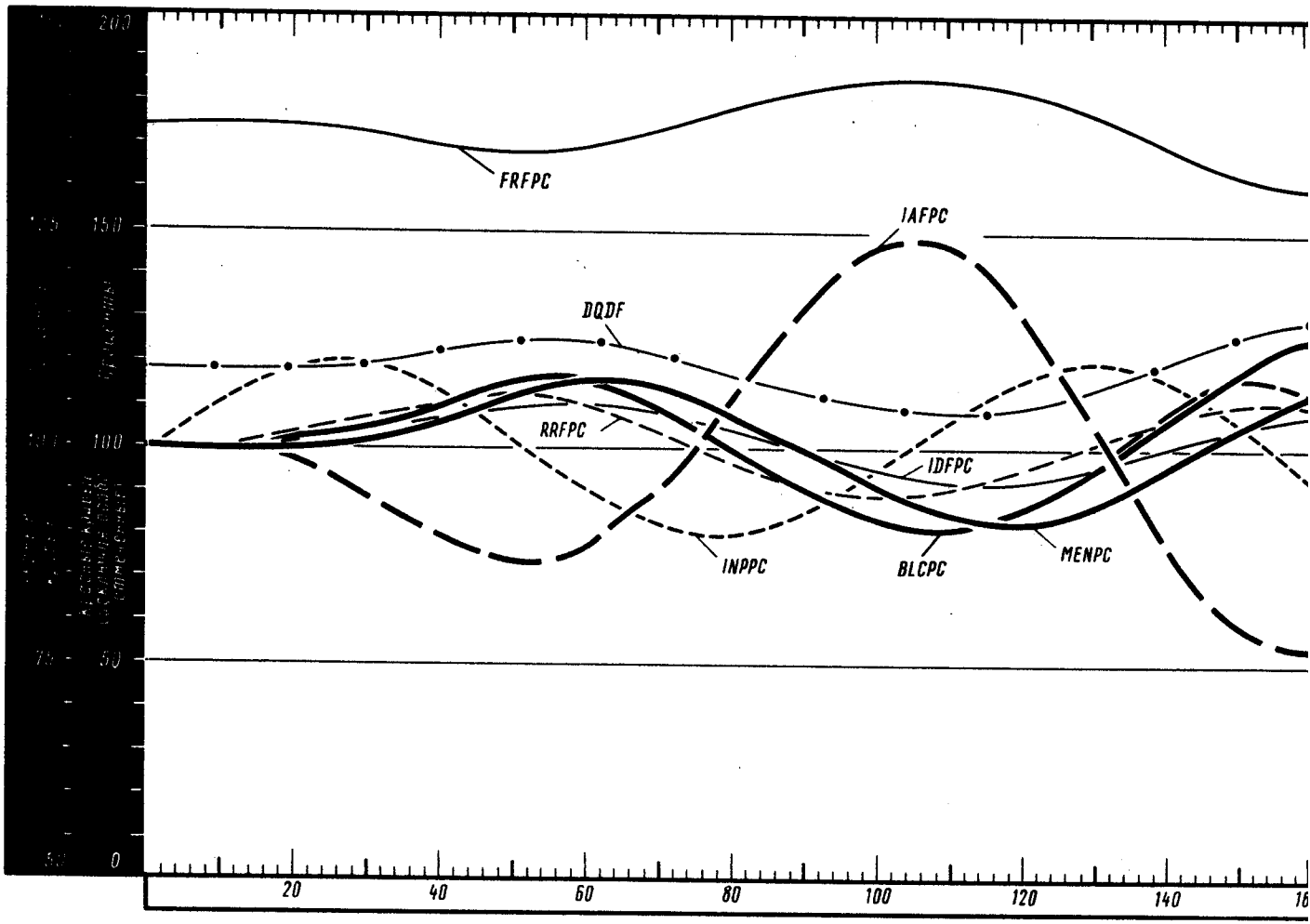
нет уменьшения кассовой наличности, которое обычно бывает в первое время после увеличения темпа продаж.

На рис. 15-15 показаны результаты проигрывания модели с новыми руководящими правилами при синусоидальном вводе с периодом в один год. При тех масштабах величин, которые использованы при построении графиков, они кажутся весьма схожими с аналогичными графиками на рис. 15-3 для старой системы. Однако на самом деле численные значения некоторых величин существенно отличаются. Как и на рис. 15-3, что здесь, однако, не показано, только незначительная часть годового циклического ввода в технический отдел покупателя доходит до поставщика деталей. При 10-процентном изменении первоначального ввода заказы заводу в старой системе изменялись на 1,6%; в новой системе они изменяются на 2,4%. Несмотря на большие колебания числа заказов, изменения в численности рабочих в новой системе меньше: они составляют 2,1 против 3,2% в старой системе. Соотношение между числом этих заказов и численностью рабочих позволяет сделать важный вывод о том, что при новых правилах колебания численности рабочих не превышают 85% от колебаний поступающих на завод заказов, в то время как в старой системе эти колебания составляли 185% (при годовых и сезонных колебаниях).

При испытании модели старой системы с синусоидальным вводом, имеющим период в два года, была установлена высокая степень чувствительности системы к возмущениям с большим периодом. На рис. 15-15 представлена соответствующая реакция системы при новых руководящих правилах; приведенные графики свидетельствуют о значительном улучшении системы.

Основным результатом здесь является уменьшение колебаний числа заказов на всем протяжении их пути от покупателя до завода — изготовителя деталей. На рис. 15-4 темп заказов покупателя заводу изменялся на 107% по сравнению с изменениями независимого ввода; на рис. 15-15 эти изменения составляют 53%. Это объясняется уменьшением запаздывания поставок с 3,2 до 0,8 недели, что ослабляет тенденцию покупателя сначала преувеличивать число заказов, а затем уменьшать их по мере изменения запаздывания поставок. Изменение темпа заказов, поступающих от покупателя на завод, составляет примерно 50% первоначальной флуктуации ввода, которая проникает в систему после 30-недельного запаздывания в техническом отделе покупателя. На рис. 15-15 колебания численности рабочих составляют 85% от колебаний первоначального ввода, в то время как на рис. 15-4 она равнялась 230%. Улучшение системы происходит по двум причинам. Как только что отмечено, темп заказов, поступающих от покупателя на завод, становится более постоянным. Далее, на рис. 15-15 колебания численности рабочих на 60% интенсивнее колебаний поступающих на завод заказов, в то время как соответствующая величина для рис. 15-4 составляет 120%.

Следует отметить, что улучшение системы коснулось всех переменных, изменение которых

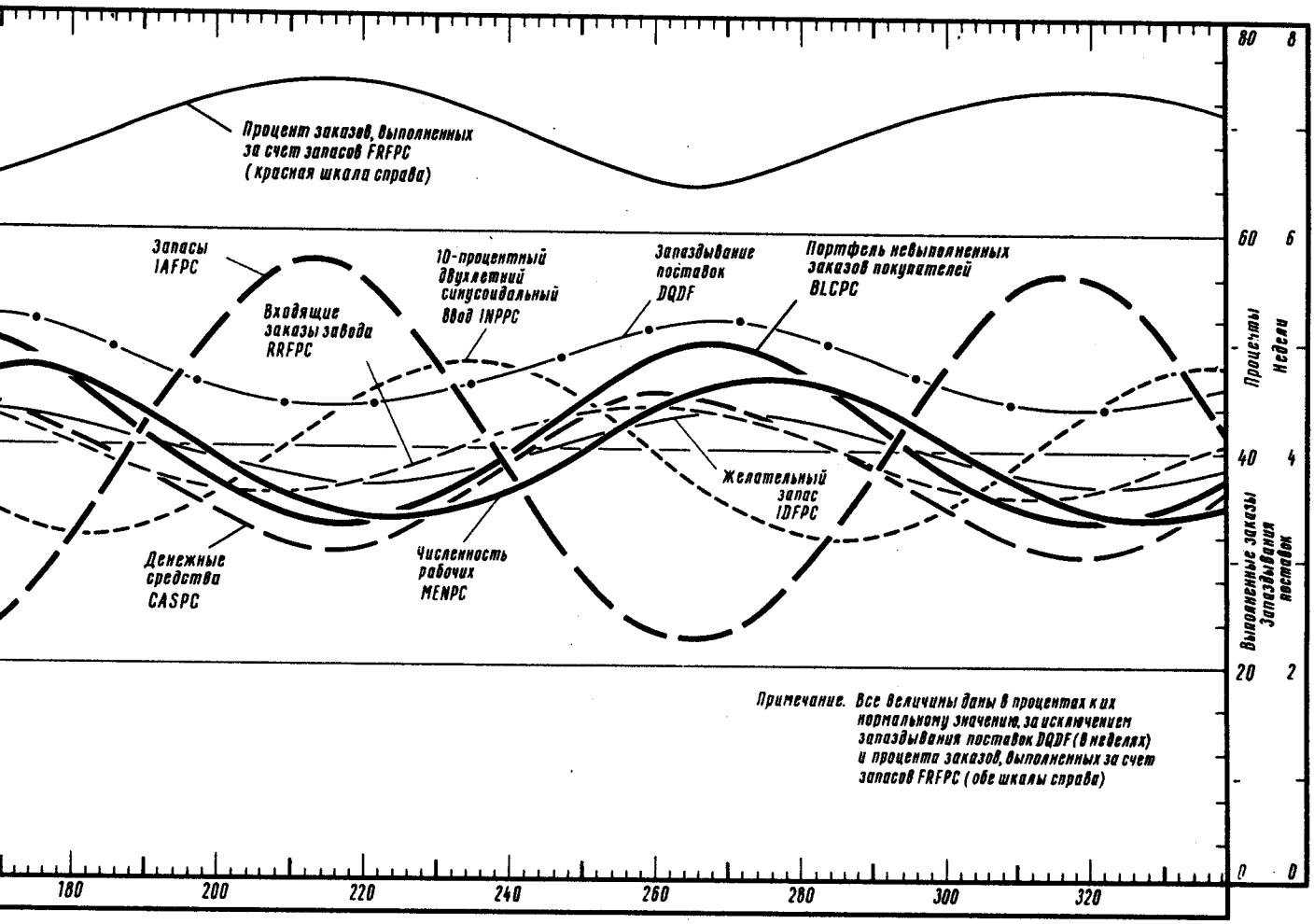


Р и с. 15-15. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (новые руководящие правила.

показано на рис. 15-15. Кассовая наличность изменяется от 76 до 113% первоначального значения, в то время как на рис. 15-4 она изменялась от 5 до 150%. На рис. 15-15 запасы изменяются в пределах от 78 до 120% от их нормальной величины, в то время как на рис. 15-4 это изменение лежит в пределах от 73 до 132%. Колебания запасов несколько уменьшились, но не так сильно, как у других переменных. Однако полученное изменение можно считать удовлетворительным, так как колебания запасов не являются чрезмерными.

Наиболее интересные сравнения системы со старыми и новыми руководящими правилами можно будет сделать, если ввести случайные изменения [1] в темп предоставления спецификаций покупателем. Следует сравнить рис. 15-16 с рис. 15-5. Усилившаяся устойчивость новой системы совершенно очевидна. Уравнение 14-79 суммирует все наймы и увольнения для получения общего изменения численности рабочих. Для рис. 15-5 это изменение составляет 760 человек в течение 350 недель. На рис. 15-16 соответствующее изменение составляет 482 человека. Подобное улучшение происходит и в большинстве других переменных. На рис. 15-5

[1] Для облегчения сравнивания результатов при старых и новых правилах на рис. 15-16 принята та же последовательность помех, которая была использована на рис. 15-5.



прежние параметры, синусоидальный ввод с двухлетним периодом).

кассовая наличность изменяется от 11 до 156% от нормальной величины, а на рис. 15-16 это изменение лежит в пределах от 53 до 133%. Максимальное отклонение запасов примерно одно и то же в обеих ситуациях. На рис. 15-16 максимум численности составляет 122%, а на рис. 15-5—140%.

На рис. 15-5 запаздывание поставок колеблется от 3,6 до 6,4 недели, а на рис. 15-16 изменение этой величины не превышает 35%.

15. 5. Улучшения в системе с новыми руководящими правилами

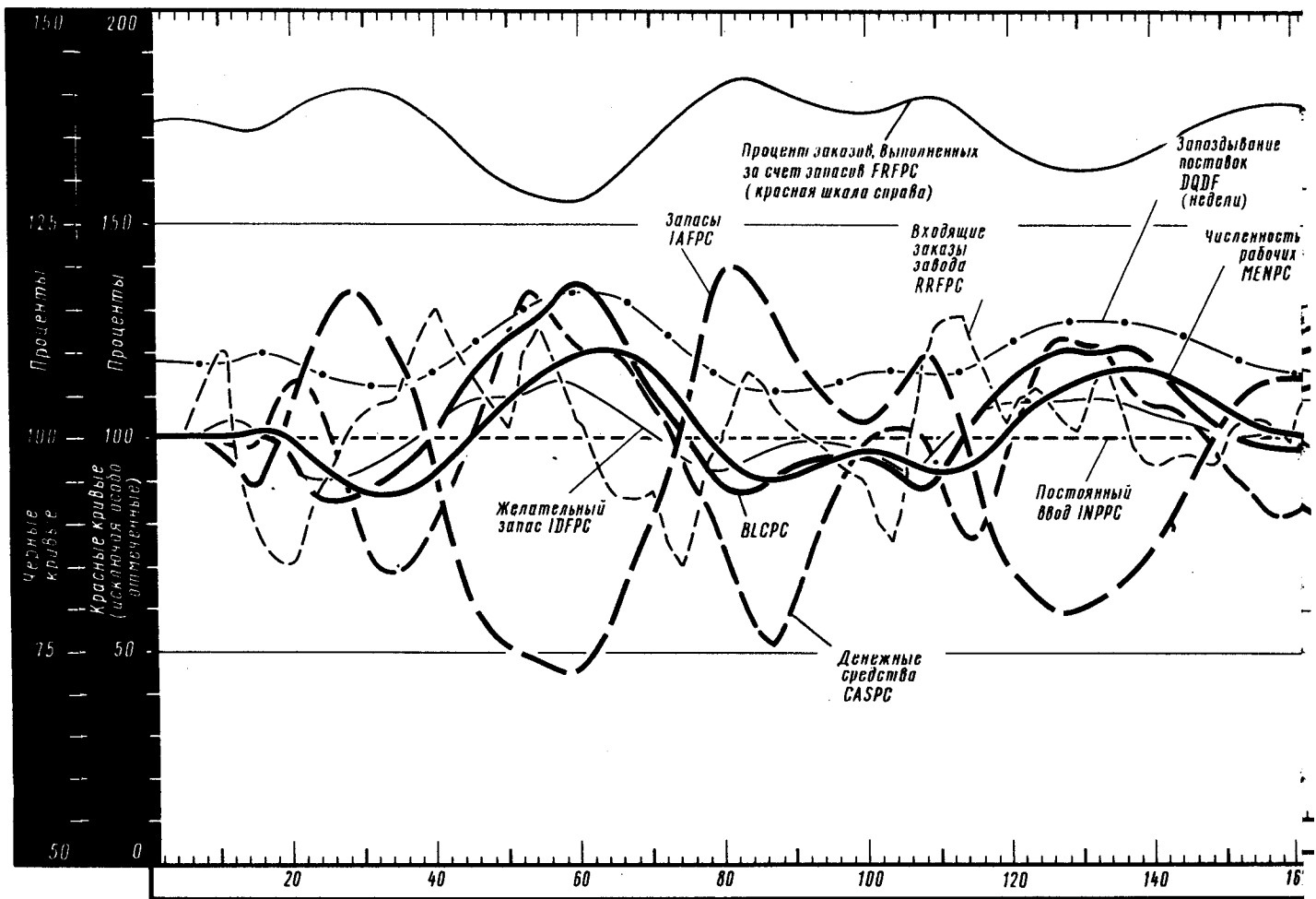
Таким образом, очевидно, что система с новыми правилами управления запасами и численностью рабочих (рис. 15-14, 15-15 и 15-16) более устойчива и менее чувствительна к возмущающим силам, чем система с прежними руководящими правилами (рис. 15-1, 15-4 и 15-5). Однако это не означает, что мы уже нашли наилучшее решение.

В разделе 14.1 (рис. 14-1) рассматриваются условия, при которых колебания запасов часто усиливают изменения численности рабочих по сравнению с кривой продаж. На рис. 15-4 старая система такова, что запасы начинают увеличиваться прежде, чем кривая продаж достигнет максимума. Это означает, что темпы производства опережают темп продаж в течение некоторого времени перед максимумом продаж и

что максимум производства будет неизбежно выше максимума продаж. Правила, ведущие к накоплению запасов прежде, чем будет достигнут максимум продаж, способствуют тенденции системы усиливать возмущения в пределах двухлетнего периода. Рис. 15-15 показывает, что новые правила несколько облегчают положение. Точка минимальных запасов совпадает по времени с максимумом входящих заводских заказов. Это означает, что кривая численности рабочих, отображающая уровень производства, все еще пересекает вершину кривой входящих заказов и что ее собственный максимум наступает позднее и на более высоком уровне. В данном случае положение несколько лучше, чем на рис. 15-4, поскольку запасы в меньшей степени ухудшают его. Однако они не способствуют уменьшению колебаний численности рабочих. Наибольший эффект здесь может быть достигнут в том случае, если максимальный темп снижения запасов совпадает с наибольшим темпом входящих заказов.

Следует отметить, что на рис. 15-15 фактический диапазон колебания запасов вполне достаточен, чтобы вместить при определенных условиях все колебания входящих заказов. Другими словами, постоянный уровень численности не усилит колебания запасов в большей степени, чем это уже сделано. Кривая входящих заказов достигает максимума на уровне, превышающем средний объем продаж на 5%. Это составляет максимум в 50 единиц в неделю сверх среднего уровня продаж. Кривая запасов на рис. 15-15 снижается со скоростью 50 единиц в неделю на ее наиболее крутом участке, и если бы эта точка совпала с пиком продаж, то за счет запасов мог бы быть удовлетворен весь избыточный спрос и поглощен весь излишек производства при минимальном уровне продаж. Мы должны стремиться к этому, однако нет ос-

Р и с. 15-16. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (новые руководящие правила,



нования полагать, что можно полностью достичь идеального соотношения запасов со всеми важными колеблющимися величинами.

Одним из путей лучшего использования колебания запасов является принятие правил, обеспечивающих наименьшую изменчивость численности рабочих и темпа производства. Как на рис. 15-4, так и на рис. 15-15 колебания численности в значительной мере определяются той скоростью, с которой численность рабочих приводится в соответствие с темпом продаж, а также скоростью корректировки уровня запасов. В правилах системы на чувствительность численности рабочих к изменениям продаж и запасов влияют три константы времени.

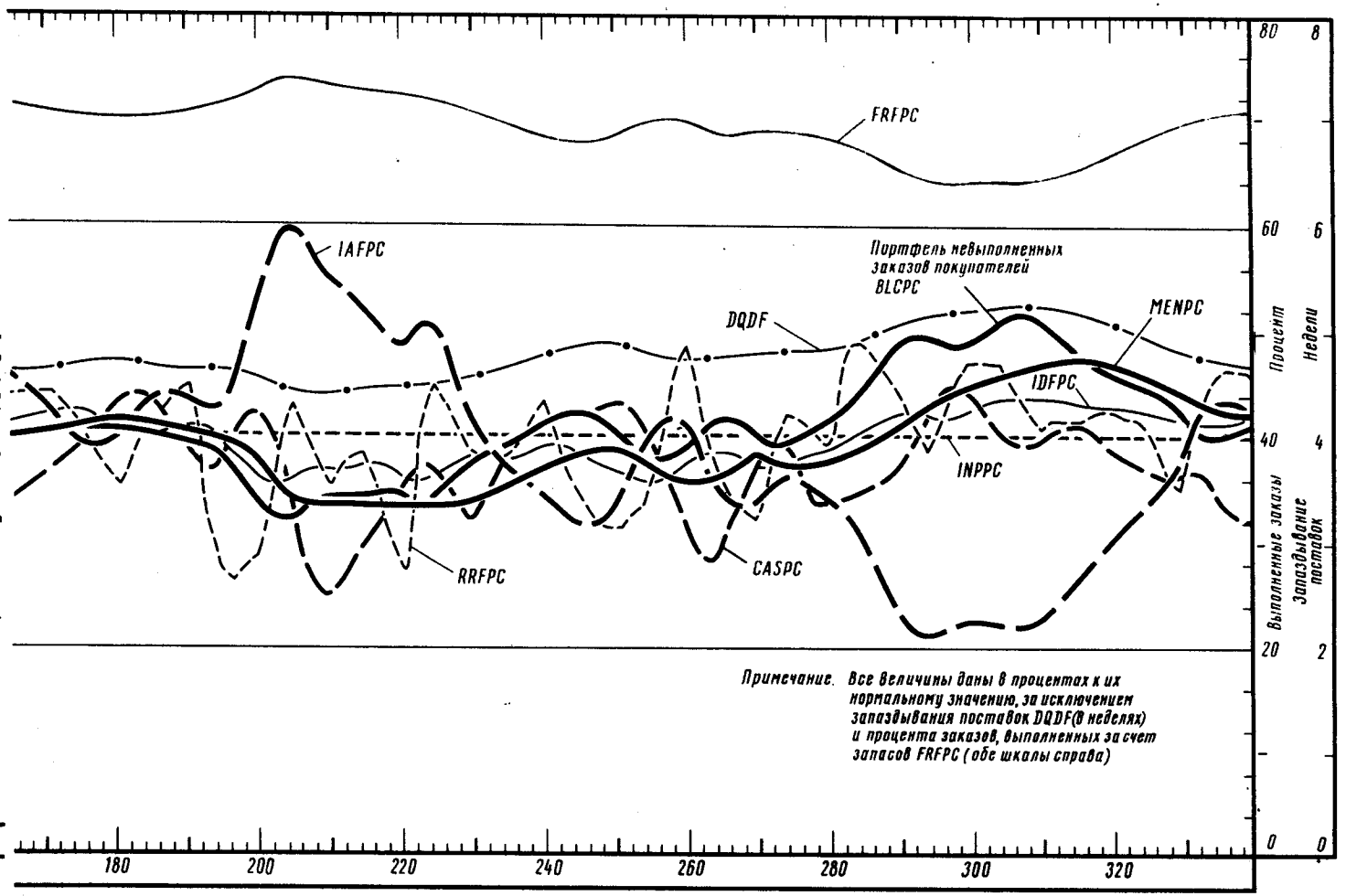
Постоянная усреднения *TRSF* в уравнении 14-20 определяет быстроту, с которой средние продажи *RSF* последуют за изменениями в темпе входящих заказов. *RSF* определяет численность рабочих, соответствующую спросу.

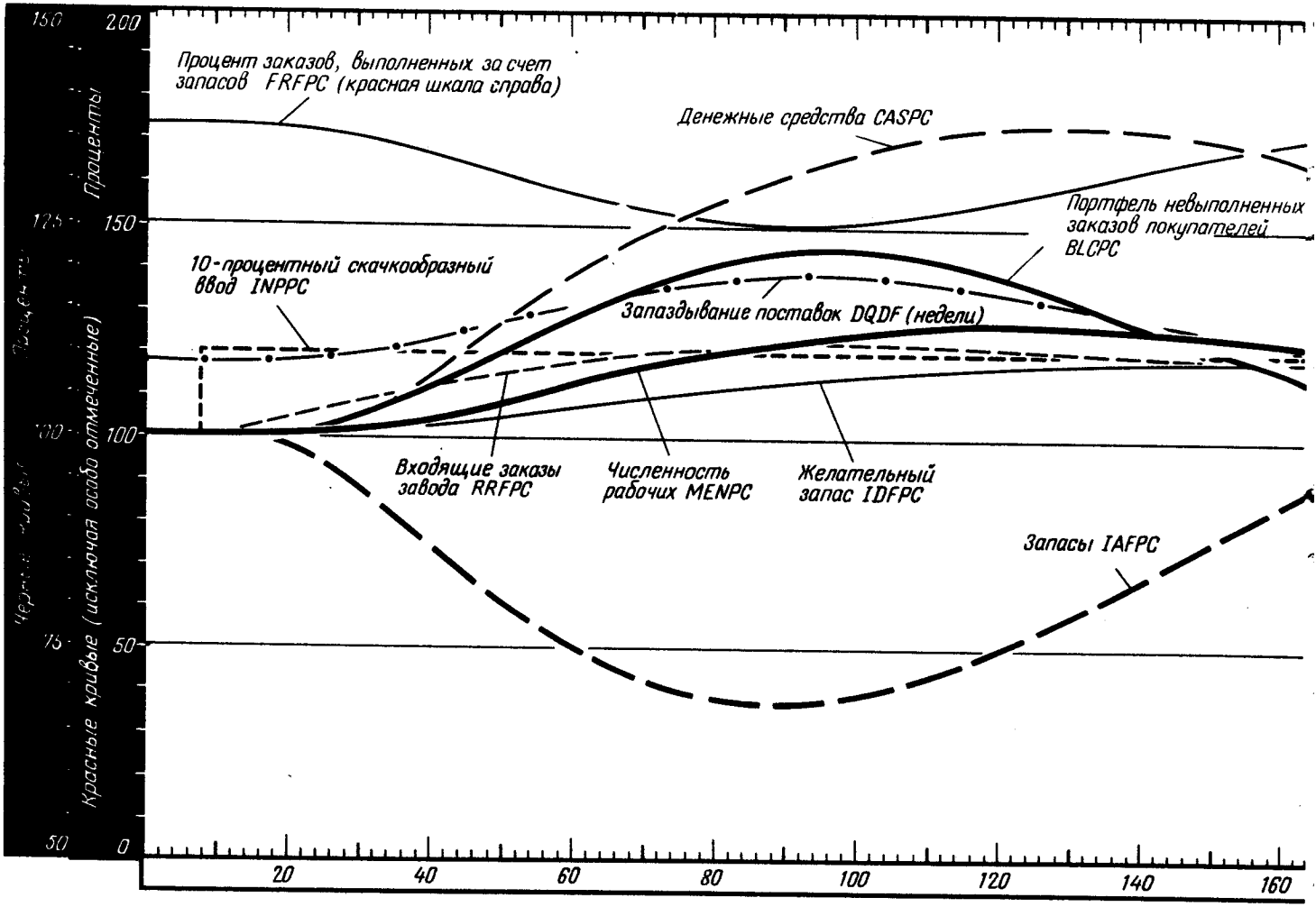
Константа *TRSF*1 в уравнении 15-1 определяет быстроту, с которой средние продажи *RSF*1 следуют за изменениями во входящих заводских заказах. Величина средних продаж определяет установленный уровень желательного запаса. Ясно, что желательный уровень запаса мало или совсем не нуждается в изменениях в течение кратковременных колебаний в заказах. Однако в течение весьма длительного периода обязательно потребуется изменение запаса в том же направлении, в каком изменяется темп продаж, поскольку запасы, необходимые для обслуживания покупателей, изменяются по мере того, как продажи изменяются в весьма широких пределах и в течение длительных периодов времени.

Константа *TBLAF* в уравнении 15-4 определяет темп, в котором корректируются излишки или недостаток запасов.

Как видно из приведенных на рис. 15-4 и

старые параметры, внесение случайных изменений в исходящий поток технического отдела покупателя).





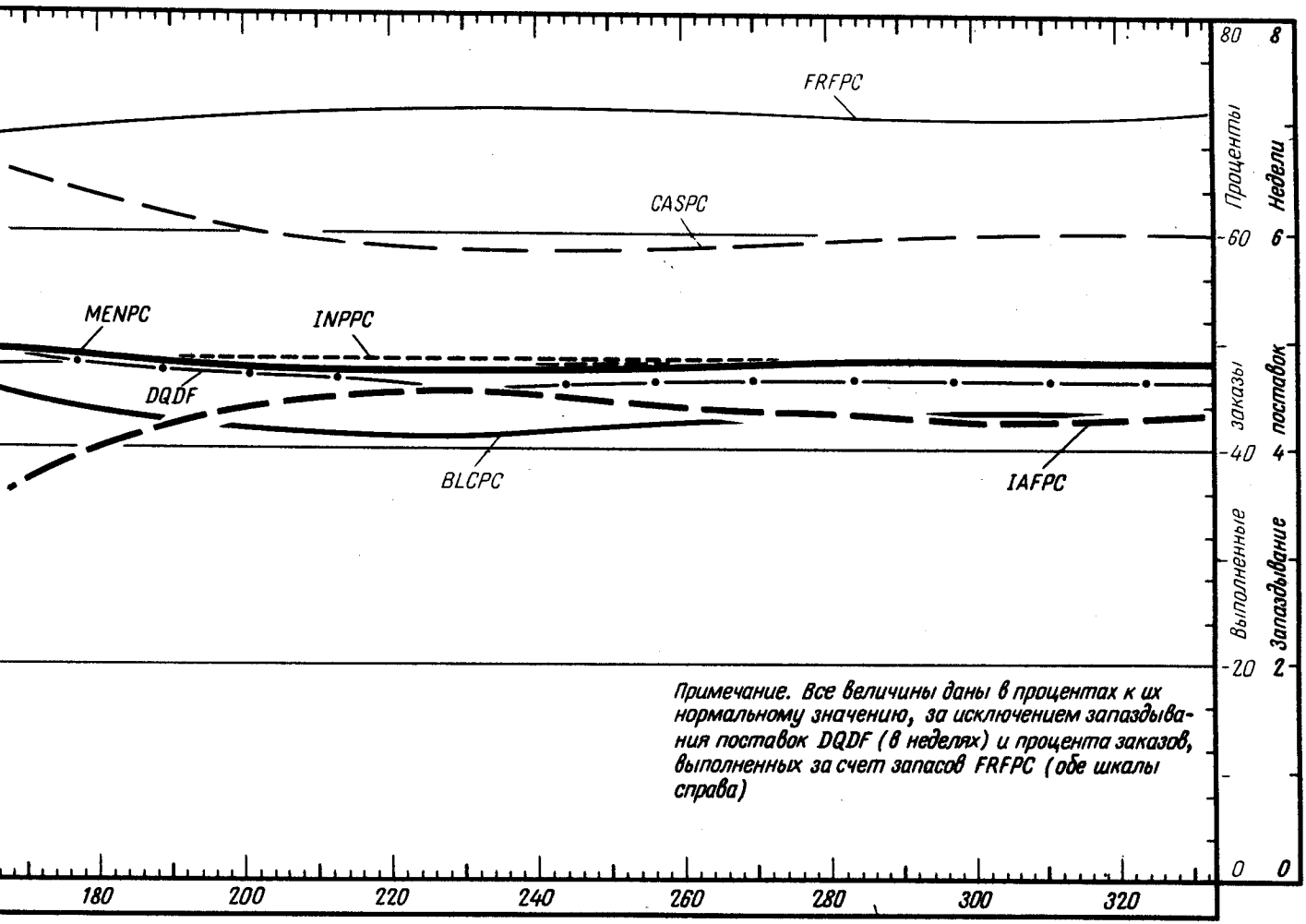
Р и с. 15-17. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (новые руководящие правила,

15-15 графиков, все три константы далеко не так малы. Большая величина $TRSF$ привела бы к замедленной реакции в изменениях численности рабочих на изменения входящих заказов. Это в свою очередь привело бы к тому, что колебания входящих заказов в большей степени регулировались за счет запаса, если бы уравнение регулирования запаса 15-4 не реагировало столь быстро, увеличивая численность рабочих для стабилизации запасов, даже если эти последние не увеличились за счет среднего уровня продаж. Очевидно, что при небольшом значении константы времени регулирования запасов и портфеля заказов $TBLAF$ будут иметь место достаточно большие изменения численности рабочих, чтобы сохранить почти постоянную величину запаса.

В качестве примера влияния этих параметров мы в дальнейшем рассмотрим применение новых правил из раздела 15.3 при следующих новых значениях параметров:

$TRSF=26$ вместо 15 недель.
$TRSF1=52$ » 15 »
$TBLAF=50$ » 20 »

Приведенные величины соответствуют усреднению величин в течение длительного времени. Выбор средних величин за длительное вре-



Примечание. Все величины даны в процентах к их нормальному значению, за исключением запаздывания поставок DQDF (в неделях) и процента заказов, выполненных за счет запасов FRFPC (обе шкалы справа)

новые параметры, скачкообразное увеличение спроса).

мя связан с определенным риском, так как система может оказаться недостаточно чувствительной к длительным изменениям уровня деловой активности; это будет зависеть от характера рыночных отношений. В следующем разделе новая система с новыми значениями параметров будет исследована на чувствительность к скачкообразным шумовым и синусоидальным сигналам, которые прежде использовались в качестве испытательных вводов. Затем область испытания будет расширена с тем, чтобы обнаружить условия, при которых замедленная реакция, вызванная увеличенными константами времени усреднения, создает затруднения.

15. 6. Характеристики новой системы

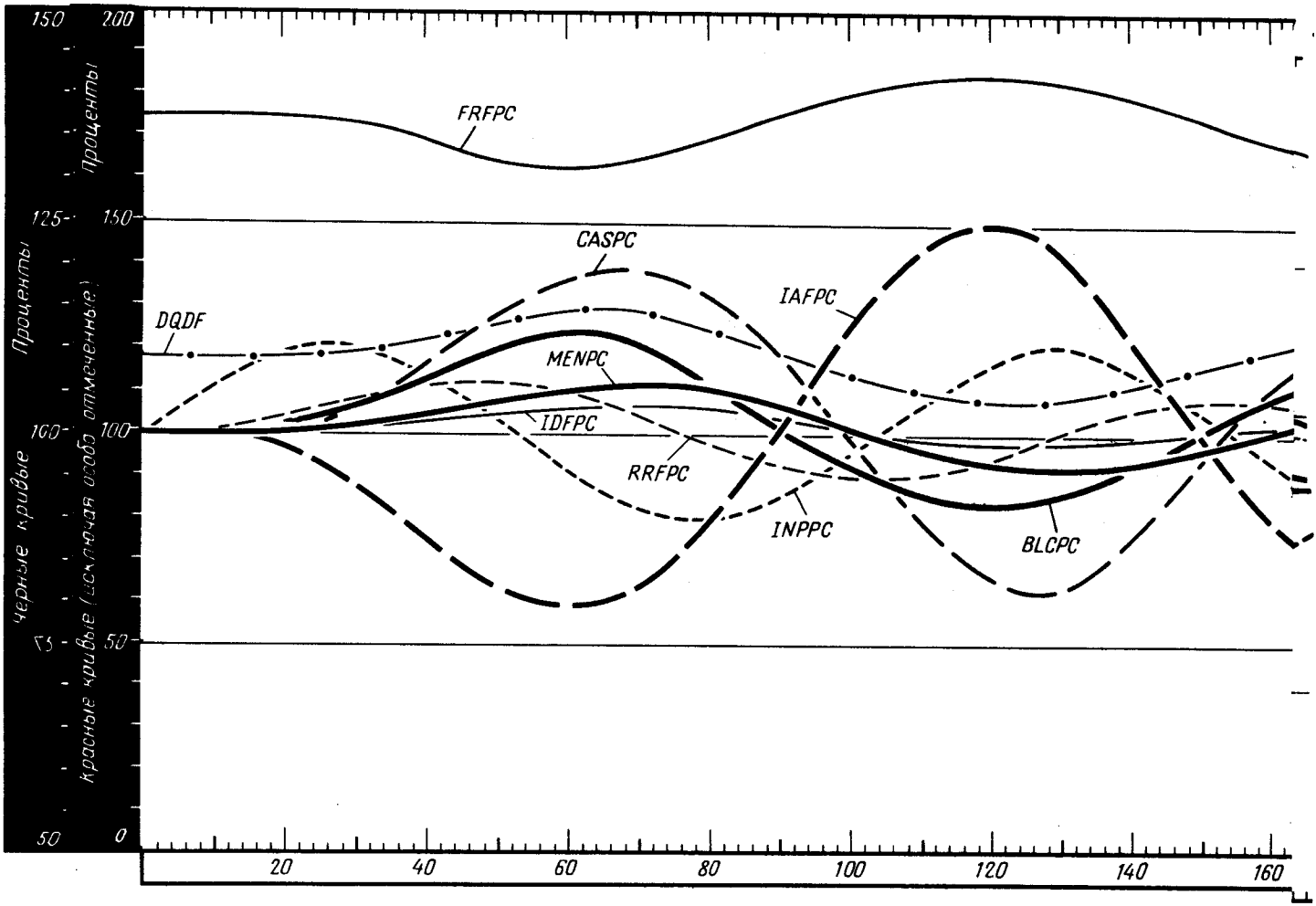
В разделах 15.1 и 15.2 исследовались динамические характеристики старой системы, модель которой была разработана в главе 14. В разделе 15.3 в структуру и руководящие правила системы были внесены некоторые изменения, и их влияние было рассмотрено в разделе 15.4. В разделе 15.5 изменены величины ряда параметров новых правил управления. Теперь мы рассмотрим динамические характеристики этой новой системы [1].

[1] Новая система состоит из уравнений главы 14, модифицированных так же, как и в разделе 15.3, с новыми

Реакция новой системы на скачкообразный ввод, показанная на рис. 15-17, должна быть сравнена с данными рис. 15-1 и 15-14. При сравнении с рис. 15-14 становится очевидным влияние констант времени, усредняющих и регулирующих запасы в течение более продолжительного времени. Численность рабочих возрастает медленнее заводских заказов, вызывая более глубокое и длительное, чем раньше, убывание запасов. Большее время восстановления уровня запасов делает этот процесс более постепенным. По объему уменьшение запасов составляет немногим более недельного выпуска продукции. На рис 15-17 численность рабочих достигает максимального значения — 113,4 против 112,5% на рис. 15-14. Максимум рабочей силы, необходимой для возмещения запасов на рис. 15-17, на 34% больше величины, на которую возрастает скачкообразный ввод, в то время как на рис. 15-14 он не превышал 25%. Сравнение данных рис. 15-17 и 15-14 показывает, что на рис. 15-17 отображено несколько менее желательное поведение. Однако более совершенный характер реакции новой системы на ввод данных другого типа может заставить рассматривать ее как лучшую систему. На рис. 15-17, как и на рис. 15-14, увеличение уровня продаж вызывает увеличение кассовой наличности без начального резкого снижения ее, как это имело место на рис. 15-1. Если бы произошло падение деловой активности на 10%, кривые на рис. 15-17 изменили бы знаки: запасы увеличились бы, а наличность уменьшилась.

параметрическими величинами из раздела 15.5: $TRSF=26$ вместо 15 недель, $TRSF1=52$ вместо 15 недель и $TBLAF=50$ вместо 20 недель.

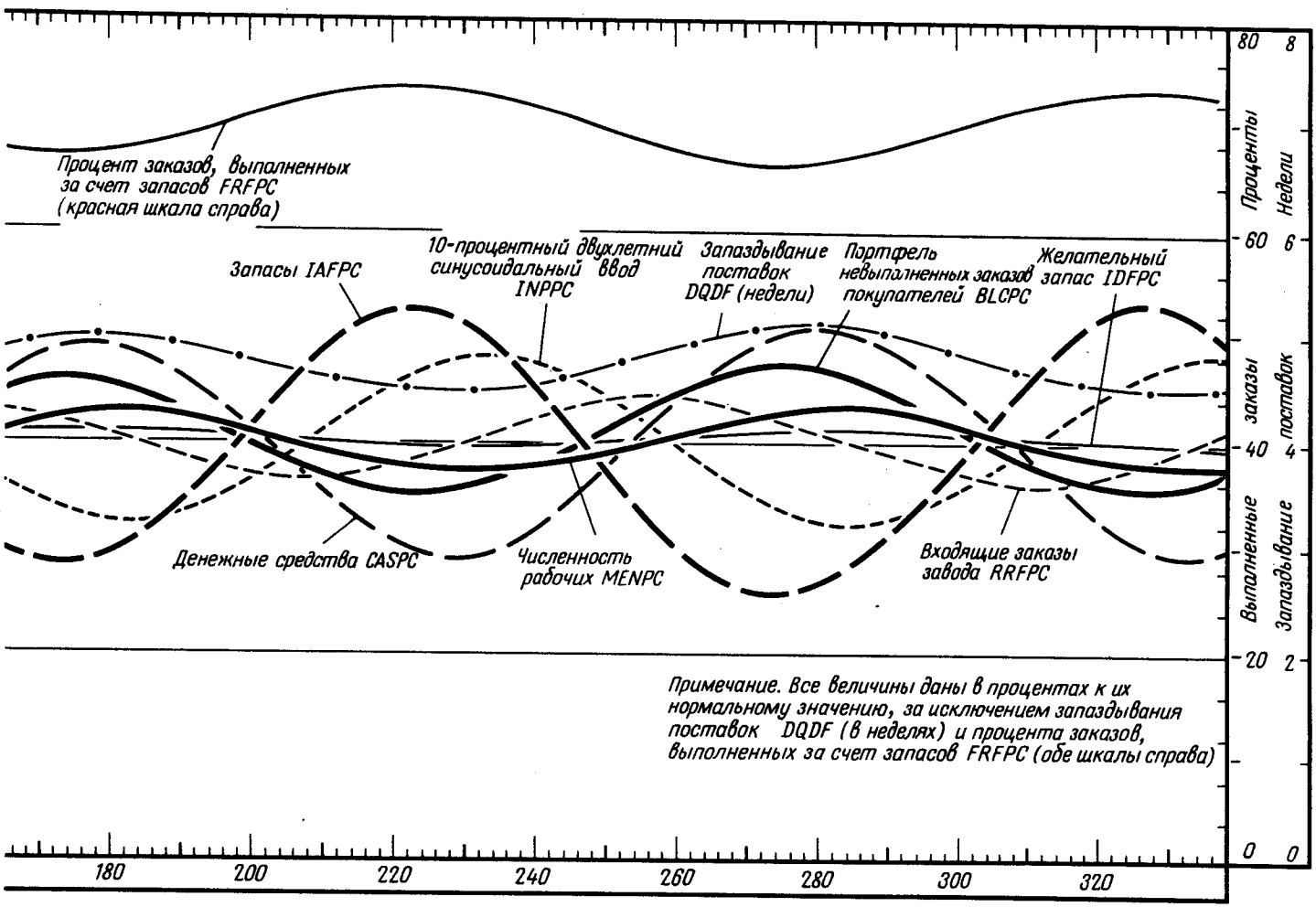
Р и с. 15-18. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (новые руководящие правила,



Реакция новой системы на колебания спроса с периодом один год и амплитудой 10% в сравнении со старой системой (рис. 15-3) столь незначительна, что для ее анализа трудно пользоваться графиками. На рис. 15-3 колебания численности рабочих составляют 32% первоначального ввода заказов в технические отделы покупателя. При новых правилах и прежних параметрах раздела 15.3 численность изменялась в пределах 24% ввода. При новой системе и новых параметрах ее изменения не превышают 9%. Если принимать во внимание только взаимодействия внутри фирмы, поставляющей детали, и пренебречь воздействиями со стороны покупателя, то можно будет определить отношение изменения численности рабочих к изменению темпа поступления заводских заказов. Для старой системы это соотношение составляло 185%, для новой системы при прежних параметрах — 86, а для новой системы и новых параметров — 38%. Это свидетельствует о явной тенденции новой системы к подавлению годового сезонного компонента любых колебаний, которые могут возникнуть. Это затухание сезонных колебаний имеет место одновременно с уменьшением колебаний запасов и наличных средств. В новой системе с новыми параметрами колебания запасов составляют 63% по отношению к старой системе, а колебания кассовой наличности — 67%.

Наиболее разительное изменение происходит в чувствительности системы к возмущению с двухлетним периодом колебания. Поскольку это было особо слабым местом старой системы, наибольшего улучшения системы следует ожидать при вводе именно такого возмущения. На рис. 15-18 показана реакция новой системы на 10-процентное колебание заказов, поступаю-

новые параметры, двухлетний синусоидальный ввод).

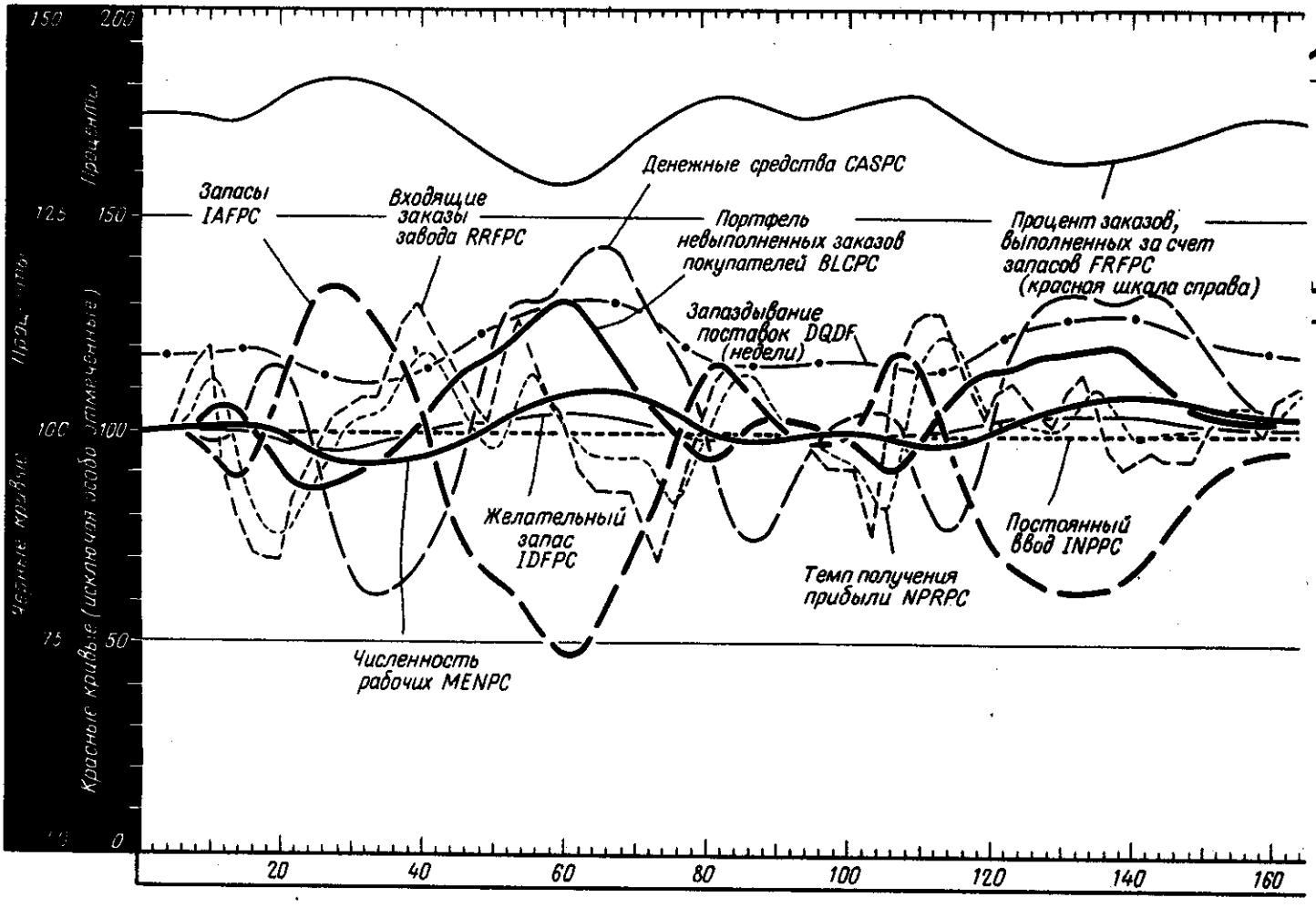


щих в технические отделы покупателей, при их двухлетнем периоде. В ответ на 10-процентное колебание ввода заказы фирме — поставщику деталей изменяются в пределах 4,6, а занятость — 3,9%. Денежная наличность изменяется на 25,4, а запасы — на 15,5%. Заказы поставщику деталей изменяются только в пределах 46% изменения заказов техническому отделу покупателя. Численность рабочих фирмы изменяется в пределах 85% изменения числа заказов поставщику деталей. Все это представляет собой улучшения по сравнению с прежними реакциями на ввод с двухлетним периодом.

Сопоставление графиков, приведенных на рис. 15-18 и 15-4, дает представление об уменьшении чувствительности системы к двухлетним колебаниям входящих заказов. На рис. 15-18 колебания численности рабочих составляют всего 17% от тех ее колебаний, которые показаны на рис. 15-4; аналогичная величина для входящих заказов поставщику деталей составляет 43%, для денежной наличности — 42, для запасов — 48 и для запаздывания поставок — 20%. Все это свидетельствует о существенном улучшении динамического поведения всех переменных системы, которое сопровождается наибольшей стабилизацией численности рабочих.

Улучшение поведения системы на рис. 15-18 обусловливается двумя факторами, которые в действительности не являются не зависящими друг от друга. Первый — это уменьшение колебаний запаздывания поставок, частично вызываемое принятыми правилами обращения с заводским портфелем невыполненных заказов и тем воздействием, которое эта сниженная флуктуация оказывает на уменьшение изменений в темпе поступления заказов покупателей на завод. Другим фактором является улучшение ис-

Р и с. 15-19. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (новые руководящие правила,



пользования запасов, как это представлено на рис. 15-18.

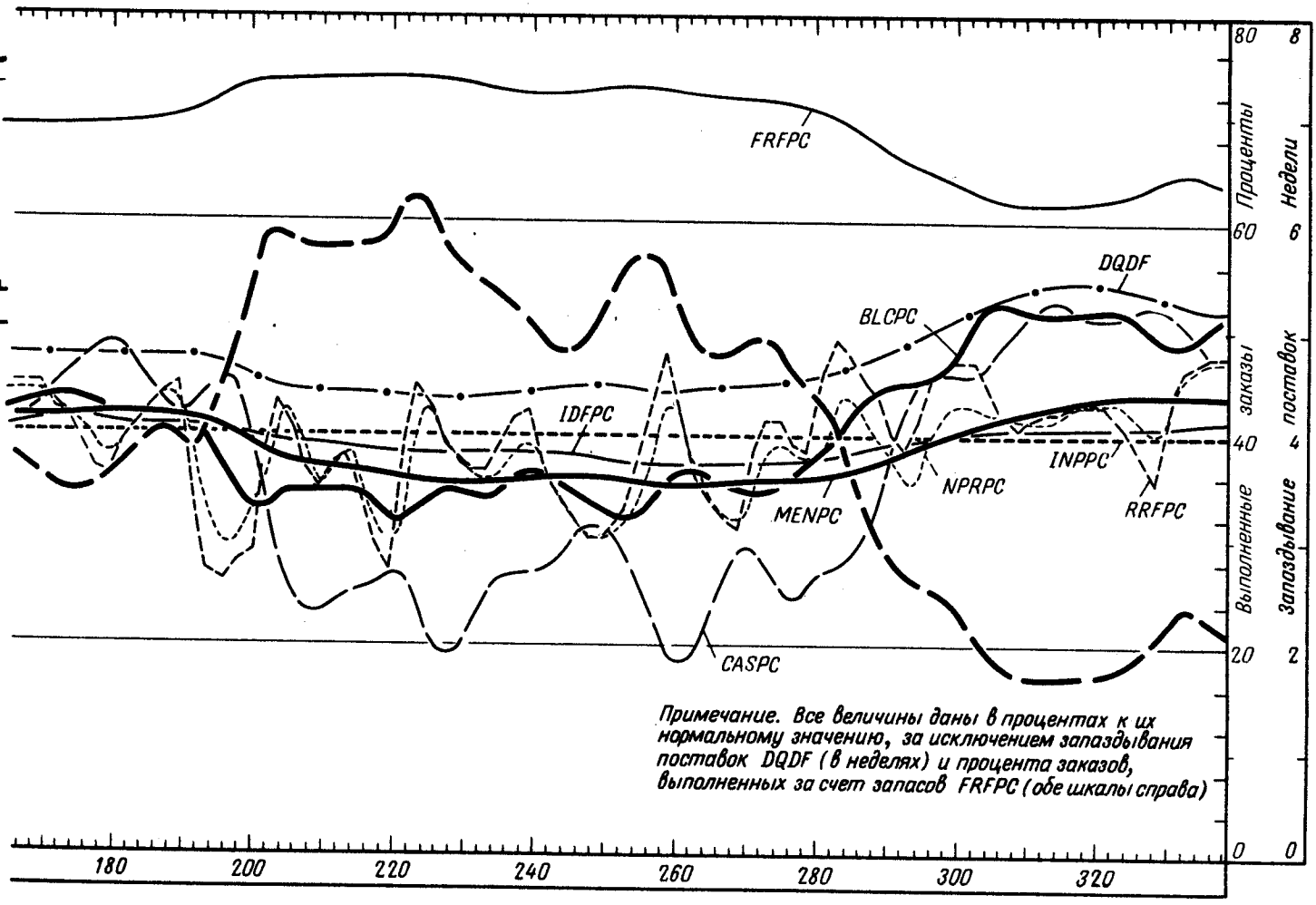
На рис. 15-18 мы впервые наблюдаем явное снижение запасов в период, когда поступление заказов на завод максимально. На рис. 15-4 минимальный запас имеет место за 22 недели до максимума кривой входящих заводских заказов. На рис. 15-15 минимальный запас появляется через 4 недели после максимальной величины потока входящих заводских заказов. На рис. 15-18 запас становится наименьшим через 18 недель после максимума входящих заказов. Это значит, что кривая производства продукции пересекает кривую входящих заказов через 18 недель после максимума кривой входящих заказов. Это приводит к тому, что максимум кривых производства продукции и численности рабочих меньше по абсолютной величине, чем максимум кривой заказов.

Колебания ввода в данном случае подавляются в два этапа. Во-первых, проявляется естественная тенденция к сглаживанию колебаний благодаря длительному запаздыванию в техническом отделе покупателя. Во-вторых, колебания численности рабочих становятся даже меньше по сравнению с темпом поступления заказов на завод. Отношение колебаний численности к изменениям темпа входящих заказов на рис. 15-18 составляет 85%, на рис. 15-15—160 и на рис. 15-4—220%.

На рис. 15-18 при максимальном поступлении заказов они выполняются за счет истощения запаса. Увеличение численности рабочих с целью пополнения запаса производится лишь по истечении достаточного времени, когда будет надежно установлена устойчивость возросшего уровня продаж.

Проанализируем теперь, как новая система реагирует на те случайные изменения выходных данных технического отдела заказчика,

новые параметры, внесение случайных изменений в исходящий поток технического отдела покупателя).



Примечание. Все величины даны в процентах к их нормальному значению, за исключением запаздывания поставок DQDF (в неделях) и процента заказов, выполненных за счет запасов FRFPC (обе шкалы справа)

которые уже вводились при построении графиков на рис. 15-5 и 15-16. Характеристики новой системы показаны на рис. 15-19. В данном случае текучесть рабочей силы (сумма наймов и увольнений) составляет 231 человек за 350 недель. На рис. 15-16 текучесть составляла 482 человека и на рис. 15-5 — 760 человек. Таким образом, изменение численности в новой системе составляет только 30% изменения в старой системе. Максимальная численность составляет только 112% минимальной численности против 122% на рис. 15-16 и 140% на рис. 15-5. Минимум наличных средств на рис. 15-19 составляет 45 по сравнению с 53% на рис. 15-16 и 11% на рис. 15-5. Максимальные объемы запаса приблизительно одинаковы во всех трех случаях [1].

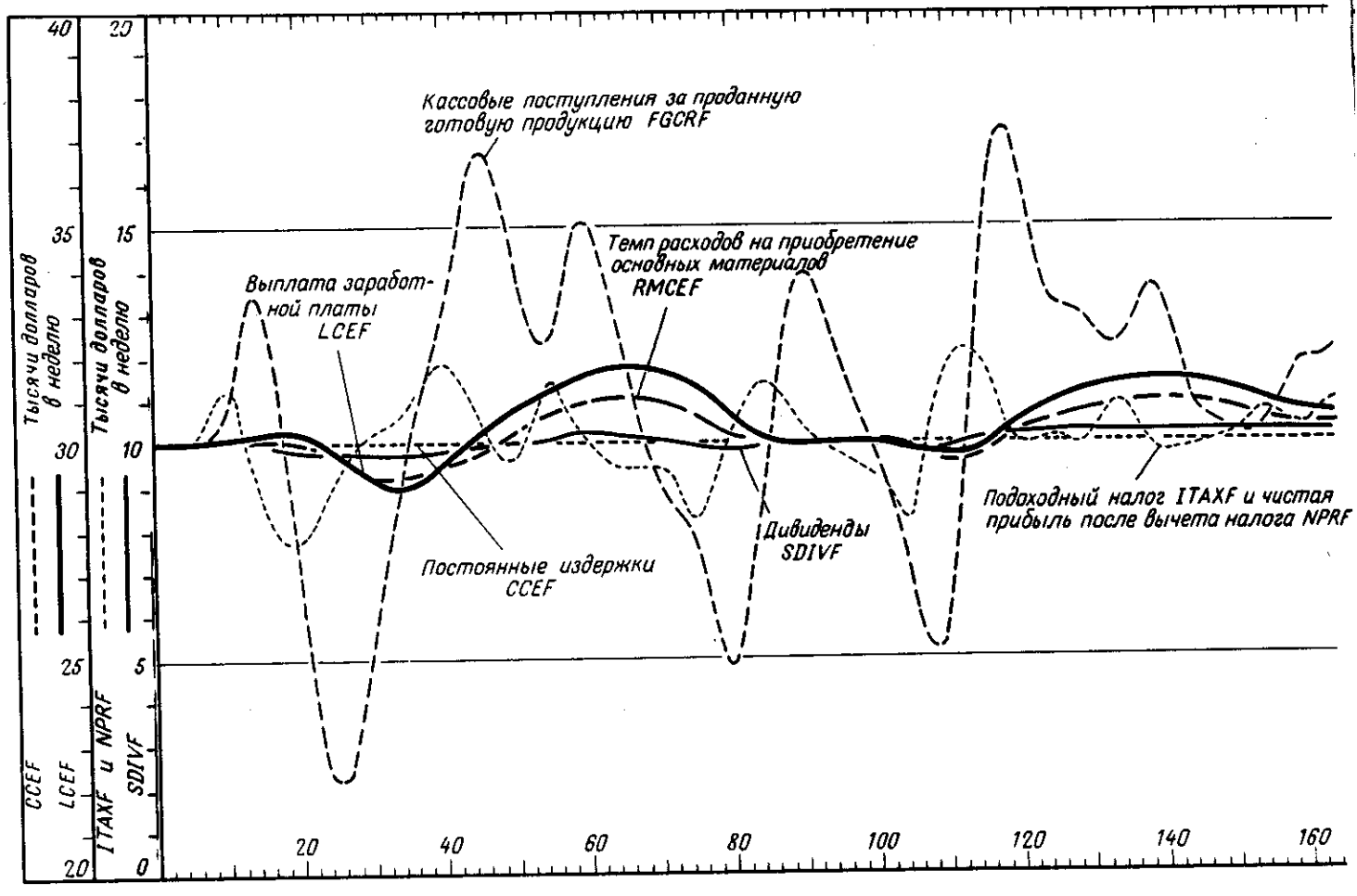
Теперь можно сравнить изменения потока денежных средств и финансового баланса на рис. 15-20 и 15-21 с данными старой системы на рис. 15-6 и 15-7. Поток денежных средств новой системы на рис. 15-20 изменяется гораздо меньше, чем на рис. 15-6. Это справедливо как в отношении расхода, так и получения денег. Более равномерный выпуск продукции определяет более равномерное расходование средств, лучшее обслуживание заказчика, более равномерные поставки. Все это способствует более равномерному поступлению средств.

Результат уменьшения колебаний потока денежных средств в новой системе отражен в динамическом финансовом балансе на рис. 15-21.

---

[1] Результаты проигрывания модели с целью испытания чувствительности новой системы к изменениям запаздывания найма рабочих не показаны. В противоположность старой системе, как это изложено в подразделе 15.2.2, новая система незначительно изменяется при изменении времени регулирования численности рабочих *TLCF* или запасов и портфеля заказов *TBLAF*. Наличие зоны неизменной численности рабочих (рис. 15-10) заставит колебаться уровень запасов, так как корректирующие изменения численности здесь невозможны до тех пор, пока не будет обнаружена ощутимая неустойчивость системы.

Р и с. 15-20. Поток денежных средств на заводе (модель промышленного производства деталей электронного оборудования,

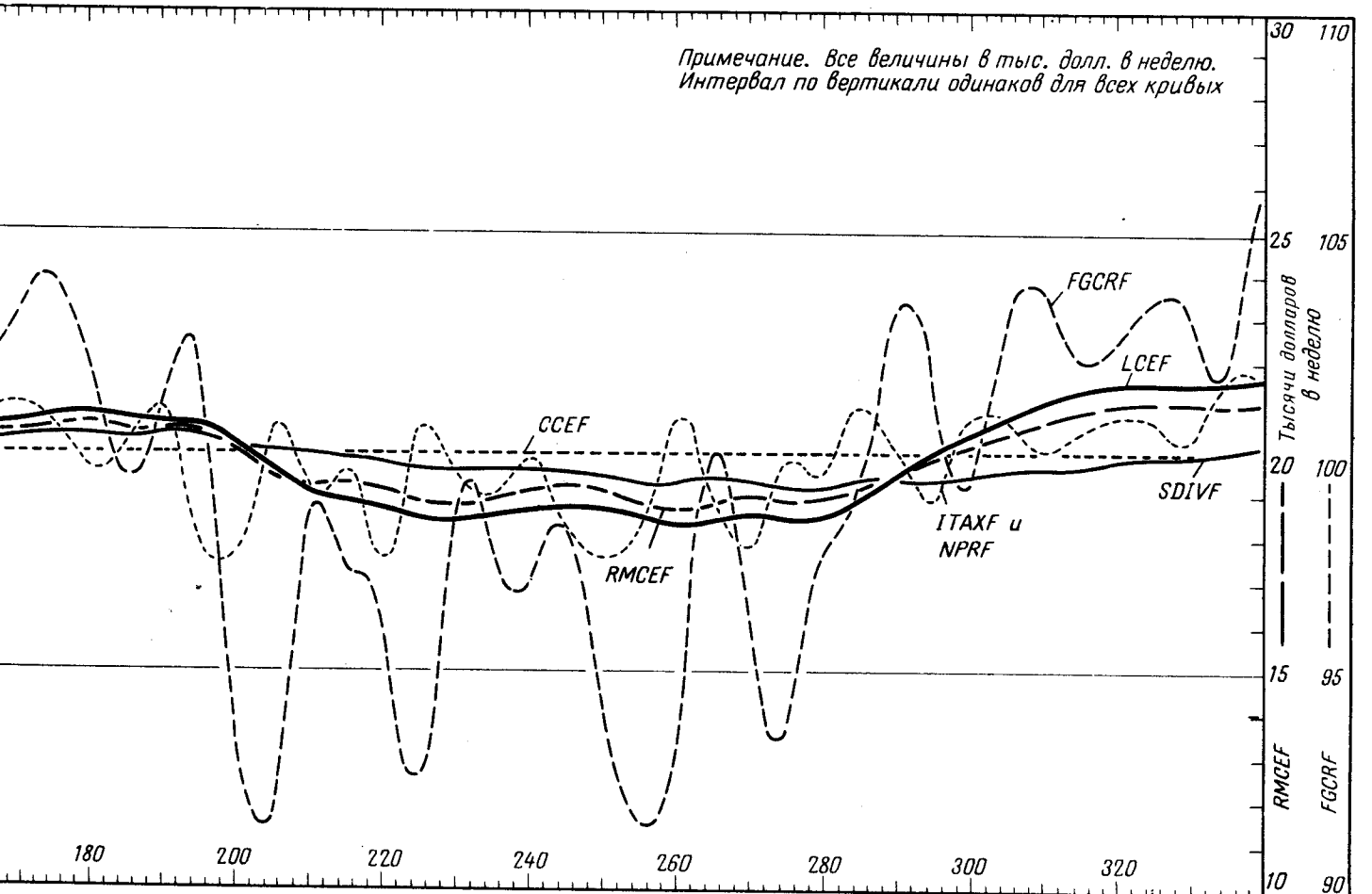


По сравнению с рис. 15-7 в данном случае наблюдается существенно меньшая подвижность оборотных средств. Особый интерес представляет новое соотношение, возникающее между совокупным запасом и счетами к получению. На рис. 15-7 те и другие имели одно и то же направление, их влияние складывалось, усугубляя колебания наличных средств. На рис. 15-21, наоборот, совокупный запас и счета к получению проявляют тенденцию к изменению в различных направлениях. Поэтому оборотные средства распределяются между запасами и счетами к получению, что снижает потребность в наличных средствах. Причина этого становится ясной при сравнении потоков денежных средств на рис. 15-20 и 15-6. На рис. 15-6 расходы возрастали перед получением средств, в то время как на рис. 15-20 поступления возрастают до начала роста расходов. Так происходит в силу того, что в новой системе темп восстановления запасов замедлен. Оборотные средства из запасов переключаются в счета к получению, и поступление наличных средств от продажи товаров начинается до движения наличности в связи с возмещением запасов.

15. 7. Воздействие сильных возмущений на новую систему

Как в настоящей, так и предыдущей главах основное внимание было уделено таким условиям производства, когда средний уровень продаж в течение двухлетнего периода остается постоянным и такое положение сохранится и в будущем. При этом руководящие правила формулировались таким образом, чтобы уменьшить чувствительность системы к кратковременным возмущениям. Решая такую важную задачу, можно создать, как это и произошло в нашем примере, систему, более чувствительную к сильным длительным изменениям среднего уровня продаж, чем исходная система.

новые руководящие правила, новые параметры, внесение случайных изменений в исходящий поток технического отдела покупателя).



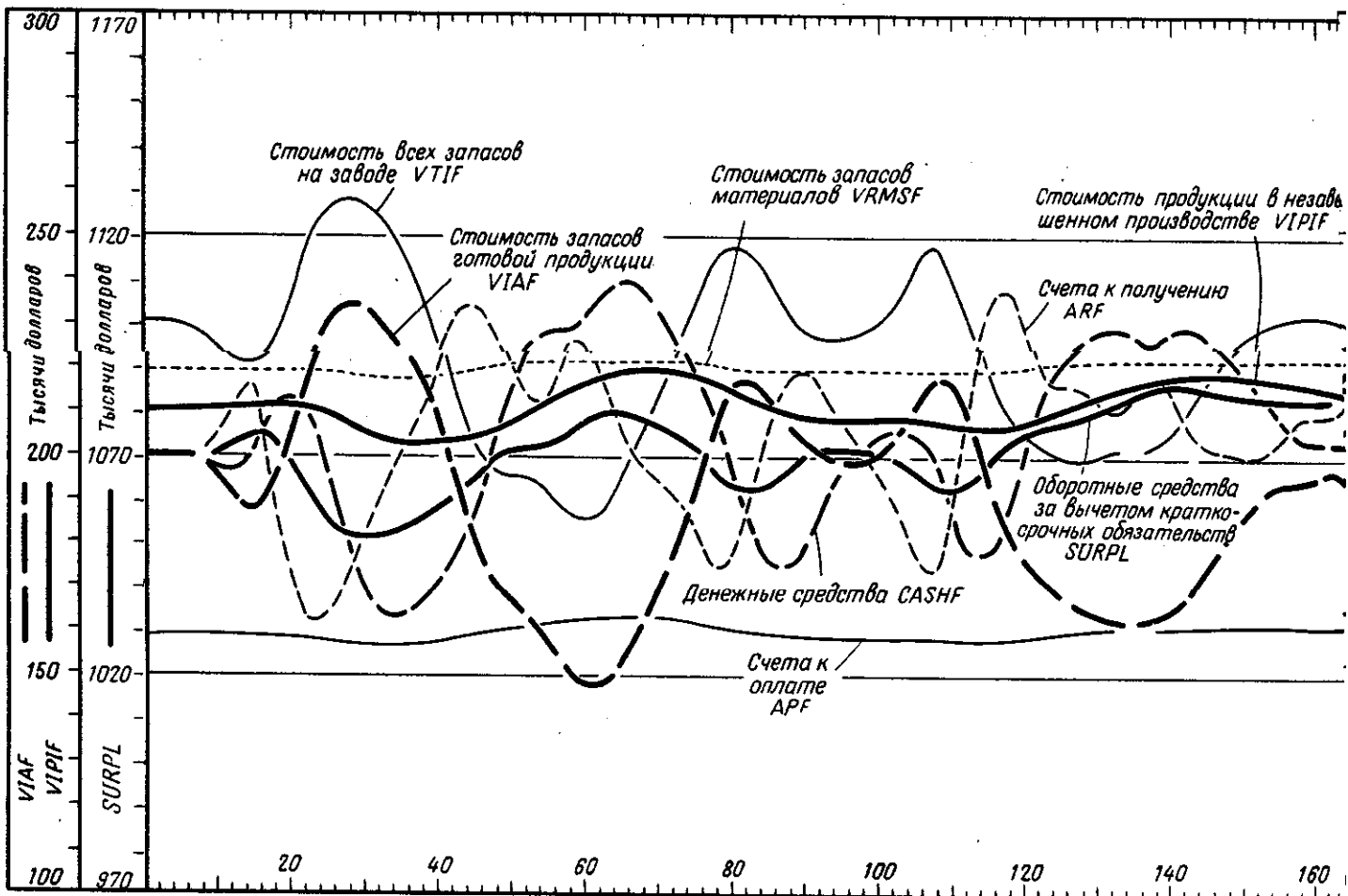
Если производство резко возрастает или уменьшается, то следует совершенно по-иному решать задачу улучшения системы.

Предположение о достаточно стабильном и длительно сохраняющемся среднем уровне продаж может сделать систему весьма уязвимой. Поэтому необходимо исследовать систему в различных экстремальных положениях, чтобы выяснить условия, в которых система может отказать. Если система оказывается уязвимой при условиях, которые в действительности не имеют места, то этим можно пренебречь. С другой стороны, если реакция системы на значительные изменения уровня продаж является внушительной, то необходимы дальнейшие конструктивные изменения, чтобы обеспечить надлежащее поведение системы.

Ниже рассматриваются реакции описанной выше новой системы на входные сигналы, представляющие рост продаж, а также на длительное (четырехлетнее) синусоидальное возмущение. Полученные результаты далеки от идеала.

На рис. 15-22 показано, как новая система реагирует на ежегодный 10-процентный рост продаж, который имеет место в течение двух лет. К концу двухлетнего периода объем продаж увеличивается на 20% против начального уровня. Рис. 15-22 показывает, что запас снижается примерно до 50% первоначальной величины. Возмещение запаса происходит крайне медленно вследствие больших значений констант времени возобновления запасов. Среднее запаздывание поставок увеличивается с 4,7 до примерно 6 недель. Вопрос о том, следует ли рассматривать полученные здесь результаты как неудовлетворительные, зависит от характера и практики данного производства. В данном случае, по-видимому, нет ничего тревожного. Тем не менее если бы объем продаж в течение двух лет уменьшался, а не увеличивался, то тогда уровень запасов существенно

Р и с. 15-21. Динамический бухгалтерский баланс завода (модель промышленного производства деталей



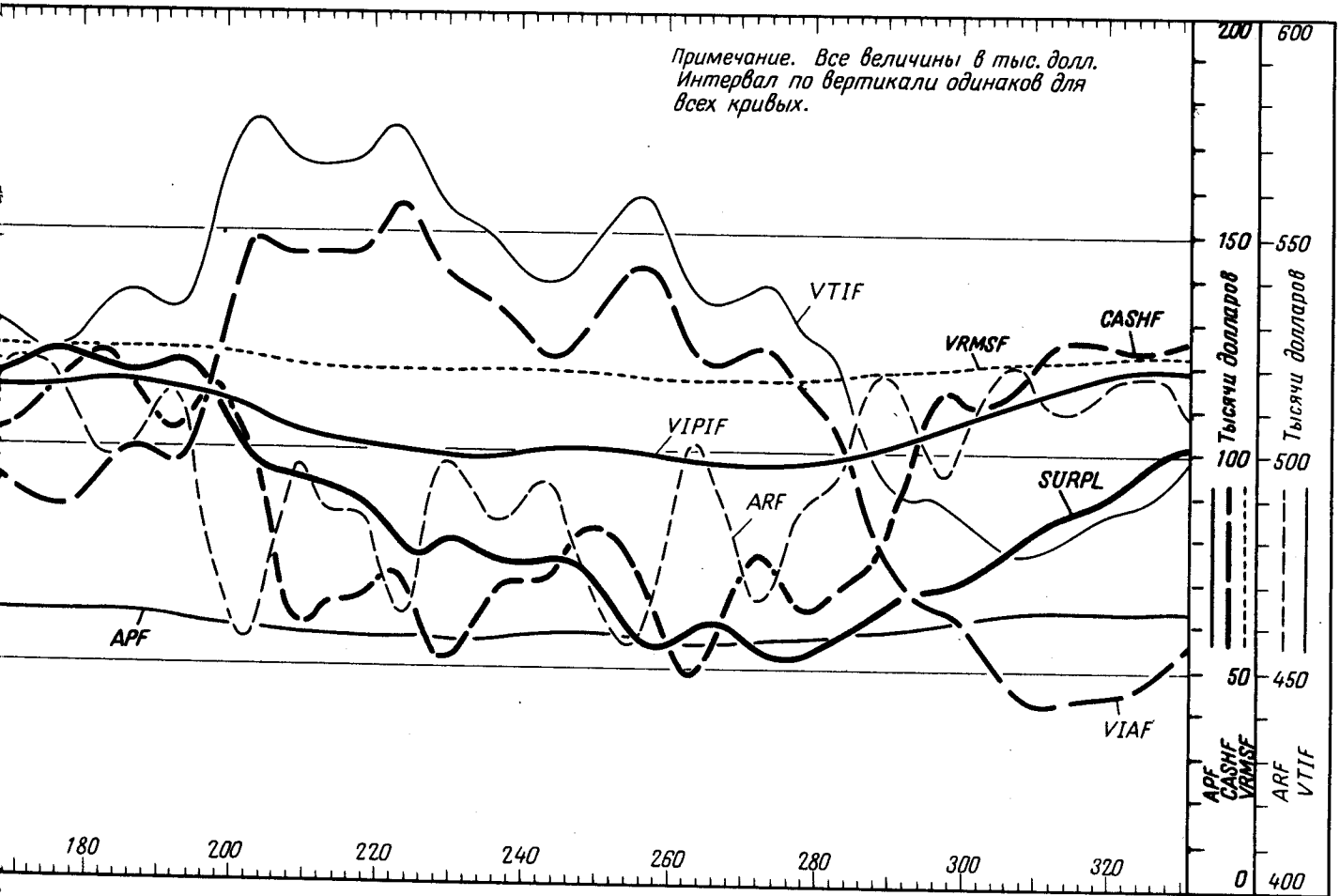
возрос бы, а наличные денежные средства уменьшились, что могло бы вызвать серьезные опасения.

Чтобы исследовать конечные пределы способности системы справиться с сильными возмущениями, можно выбрать более крутой подъем продаж. На рис. 15-23 показана реакция системы на увеличение заказов на вводе технического отдела покупателя на 20% в год в течение двух лет, в результате которого продажи достигают уровня на 40% выше первоначального. Запасы снижаются до 23% по сравнению с их нормальным уровнем, что соответствует приблизительно однонедельному выпуску продукции. Запаздывания поставок увеличиваются с 4,7 до 8 недель. Запасы восстанавливаются до их первоначальной величины лишь спустя два года после окончания подъема продаж. Без сомнения, такая реакция системы будет признана неудовлетворительной при любых обстоятельствах, при которых возможно значительное увеличение продаж.

На рис. 15-18 мы видели, что для двухлетнего периода амплитуда колебаний численности рабочих меньше амплитуды темпа поступления заказов. Очевидно, что при достаточно большом периоде синусоидального возмущения объемы продаж и производства должны увеличиваться и снижаться в одинаковой степени, иначе колебания запасов станут чрезмерными. Поэтому следует поинтересоваться, как наша новая система реагирует на еще больший период возмущения, чем двухлетний. Продолжительные колебания могут быть следствием внешних факторов, связанных с изменениями в национальной экономике. В данном случае предполагается, что эти изменения создаются вне моделируемой системы.

На рис. 15-24 показана новая система при колебании ввода технического отдела покупателя с 10-процентной амплитудой и 4-летним периодом. При таком большом периоде колебаний запасы, постепенно умень-

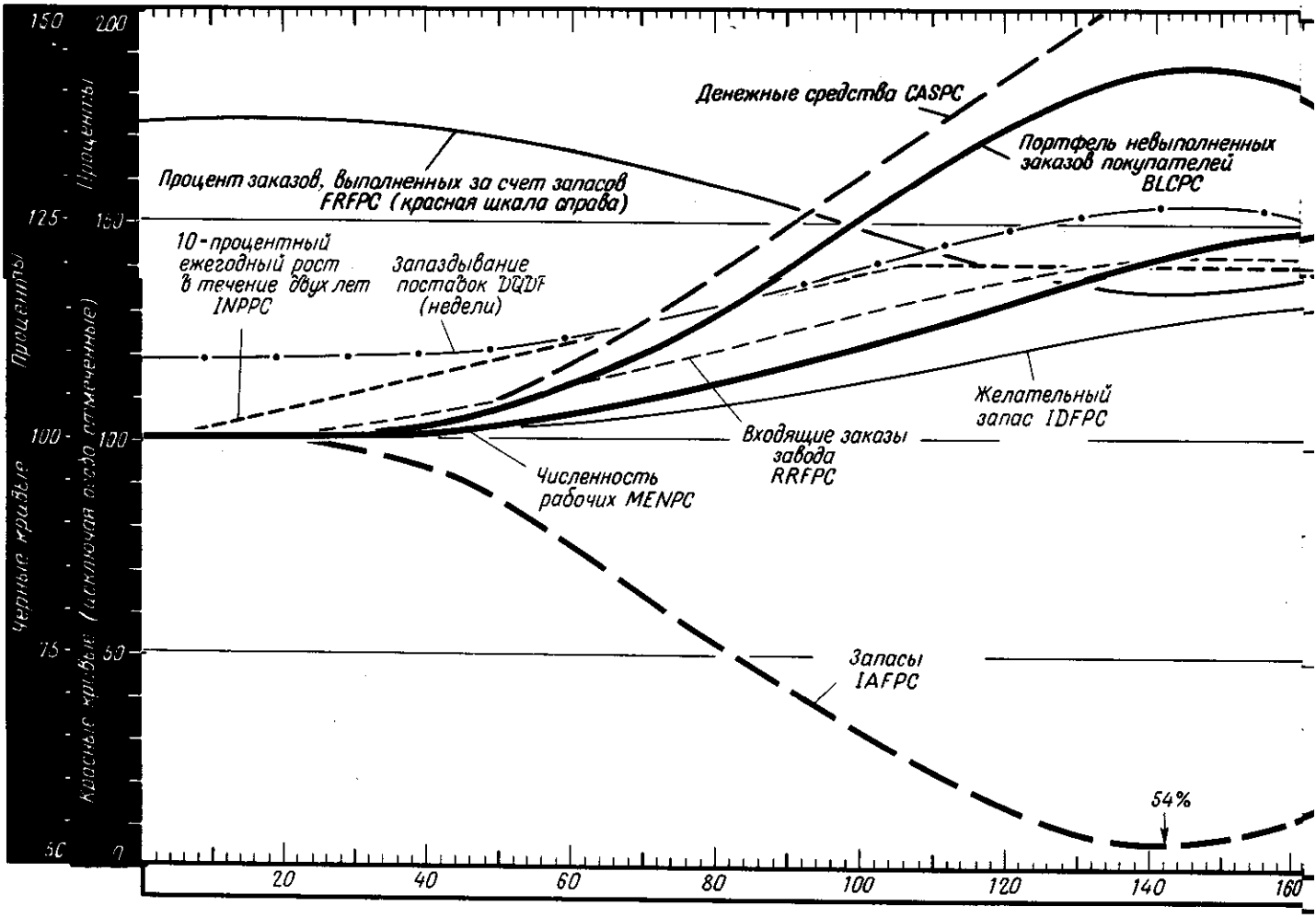
электронного оборудования, внесение случайных изменений в исходящий поток технического отдела покупателя).



шаясь, достигают такого уровня, когда они перестают обеспечивать стабилизацию численности рабочих. Минимальный объем запасов получается примерно по истечении 300 недель при максимуме поступающих на завод заказов. Ввод в технический отдел покупателя колеблется в пределах 10%. Поступающие на завод заказы колеблются в пределах 11%, численность рабочих — 13%. Запасы отклоняются от их нормальной величины примерно на 50% в каждую сторону.

Продемонстрированные на рис. 15-22, 15-23 и 15-24 вводы могут показаться неправдоподобными во многих случаях. Однако при определенных обстоятельствах такие возмущения могут быть вероятными, а реакции, изображенные на предыдущих рисунках, могут оказаться приемлемыми. В еще более крайних положениях вероятными окажутся даже более резкие возмущения, при которых будет желательна большая стабилизация потоков денежных средств, запаздывания поставок и запасов. В этом случае нужно будет провести ряд исследований, чтобы получить более или менее удовлетворительную систему взаимодействий. Одним из возможных путей решения задачи является уменьшение некоторых констант времени, введенных в разделе 15.5. Их можно уменьшить без какого-либо отрицательного влияния на те преимущества, которые были достигнуты при стабилизации системы по отношению к кратковременным возмущениям. Другим

Р и с. 15-22. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (новые руководящие правила,



способом могло бы быть улучшение принятых ранее достаточно простых формул показательного усреднения первого порядка. Третьим методом может явиться использование различных нелинейных соотношений в правилах управления с таким расчетом, чтобы численность рабочих при больших отклонениях денежных средств и запасов изменялась не прямо пропорционально этим величинам, а в большей степени [1].

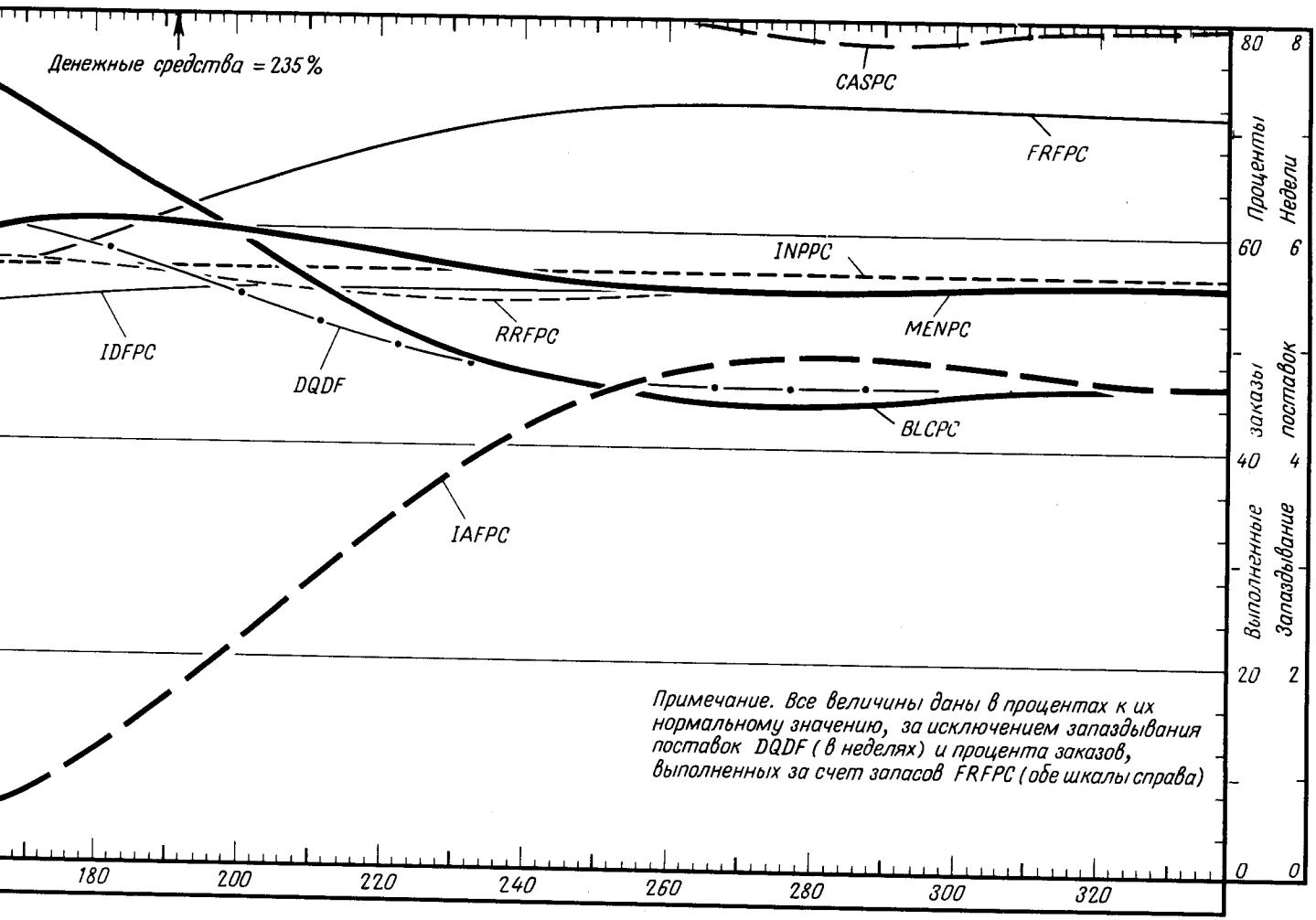
[1] Величина *TBLAF* в уравнениях 15-4 и 15-12 новой системы составляла 50 недель (рис. от 15-17 до 15-24). Это настолько длительный период, что запасы должны отклониться от нормы прежде, чем они окажут достаточное воздействие на темп производства. В нормальных условиях такое положение достаточно приемлемо, но оно влечет за собой своего рода чрезвычайную реакцию (см. рис. 15-23), когда вводимый в систему спрос изменяется резко. На рис. 15-25 принято, что переменная времени регулирования портфеля заказов *BLATF* равняется *TBLAF*, когда фактический запас соответствует желательному, но уменьшается, когда запас отклоняется от нормы. Следующие изменения определяют различие систем, характеристики которых представлены на рис. 15-23 и 15-25.

На рис. 15-25 иллюстрируется третий способ улучшения системы — нелинейная модификация времени возобновления запасов. Для

1. Уравнения 15-4 и 15-12 заменяются следующим образом:

$$LIAF.K = \frac{1}{(BLATF.K)(CPLF)} \times$$
$$\times (IDF.K - IAF.K + OINF.K - OPIF.K)$$

новые параметры, 10-процентное увеличение ввода за год в течение двух лет).



небольших колебаний запасов время восстановления остается длительным. По мере того как объем запасов начинает достигать высоких или низких значений, время их восстановления сокращается, так что отклонение запасов от нормальной величины все более воздействует на темп производства. На рис. 15-25 показано то же 20%-ное отклонение в течение 2 лет, которое привело к крайним условиям на рис. 15-23. Разница весьма заметна. Объем запасов снижается только до 62 вместо 23%. Численность рабочих увеличивается до нового уровня, составляющего 140% исходной величины, без превышения нового установившегося ее значения, в то время как на рис. 15-23 она достигает максимума в 152%. Запаздывание поставок увеличивается от 4,7 только до 5,7 недели вместо 8,2 недели. Портфель заказов достигает максимума в 171% вместо 330%. Процент заказов, выполняемых за счет запасов, снижается лишь до 58% вместо 31%. Вследствие лучшего регулирования

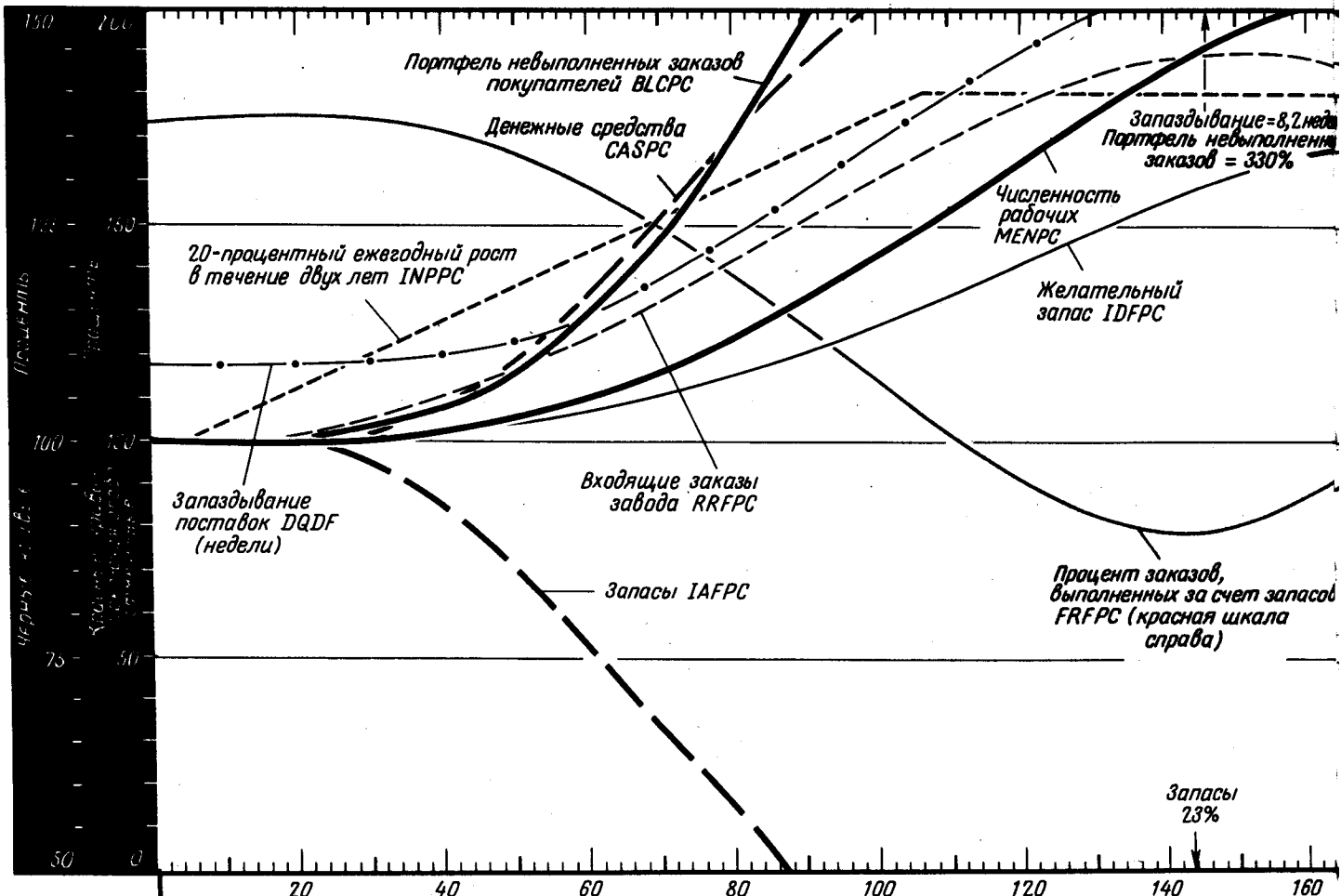
$$LBLAF.K = \frac{1}{(BLATF.K)(CPLF)} \times \times (BLCF.K - BLNF.K)$$

2. Добавляется уравнение

$$BLATF.K = \frac{TBLAF}{1 + \left[\frac{(CIRF)(IDF.K - IAF.K)}{(CBLAV)(IDF.K)}\right]^2}$$

CBLAV=1,0 недели.
CBLAV представляет собой отклонение запасов (в неделях выпуска продукции) от нормы, при котором время регулирования портфеля заказов снижается до половины *TBLAF*. Это та точка, в которой знаменатель выражения в скобке равен 1. При увеличении отклонения вдвое время регулирования равняется $^1/_5$ *TBLAF*. Величина *TBLAF* остается равной 50 неделям. *CIRF* дает нормальное отношение запасов к средним продажам в уравнении 15-3. Как и прежде, эта величина равняется 4 неделям.

Р и с. 15-23. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (новые руководящие правила,



запаздывания поставок опережение заказов со стороны покупателей не достигает таких значений, которые заставили бы входящие заводские заказы превзойти по величине поток заказов, поступающих к покупателям, как это имело место на рис. 15-23.

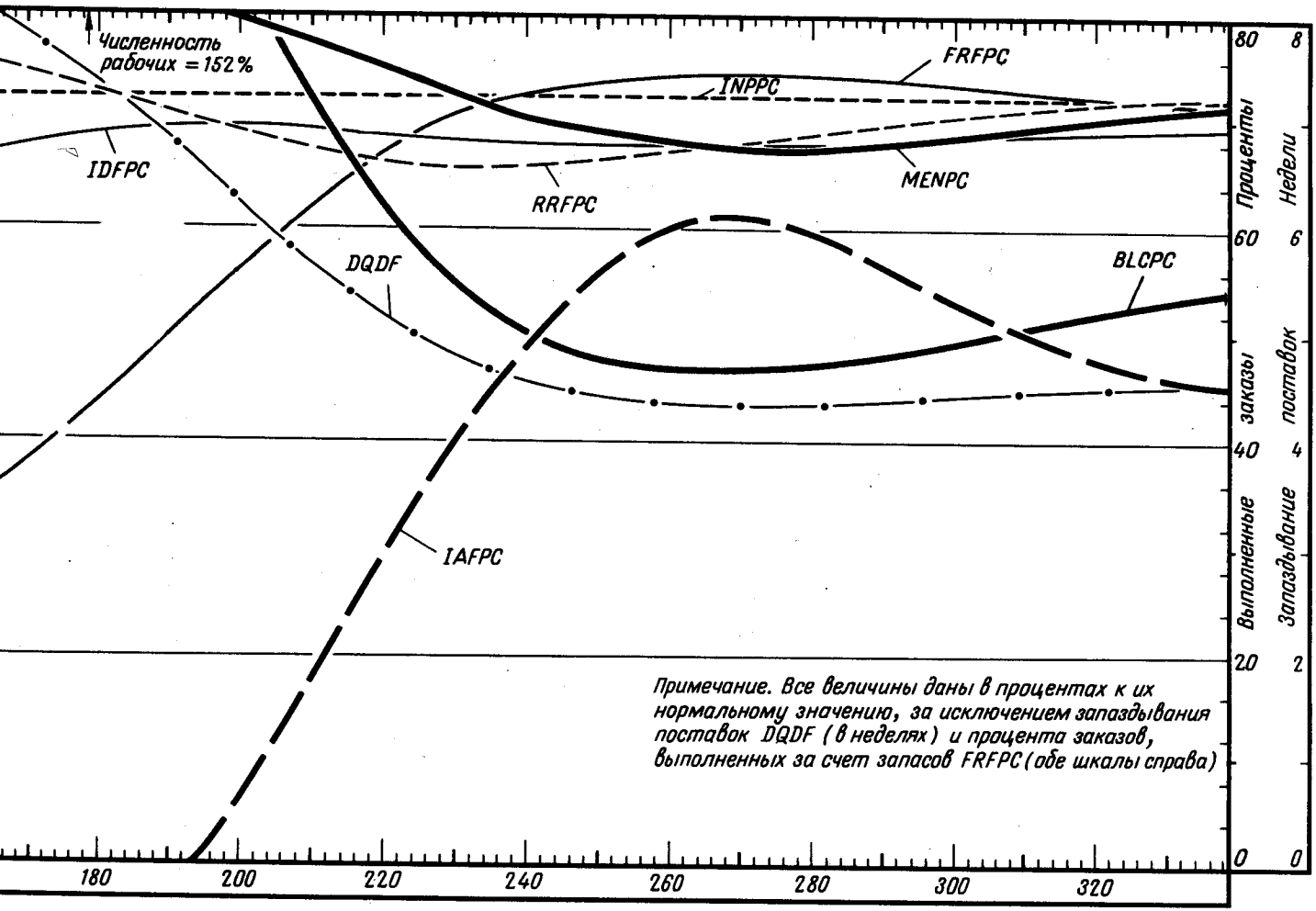
Эти улучшения имеют место вследствие того, что значительное снижение запасов на рис. 15-25 обусловливает более быстрый подъем численности рабочих, чем на рис. 15-23. В результате выпуск продукции становится равным объему поставок на 86-й неделе вместо 144-й.

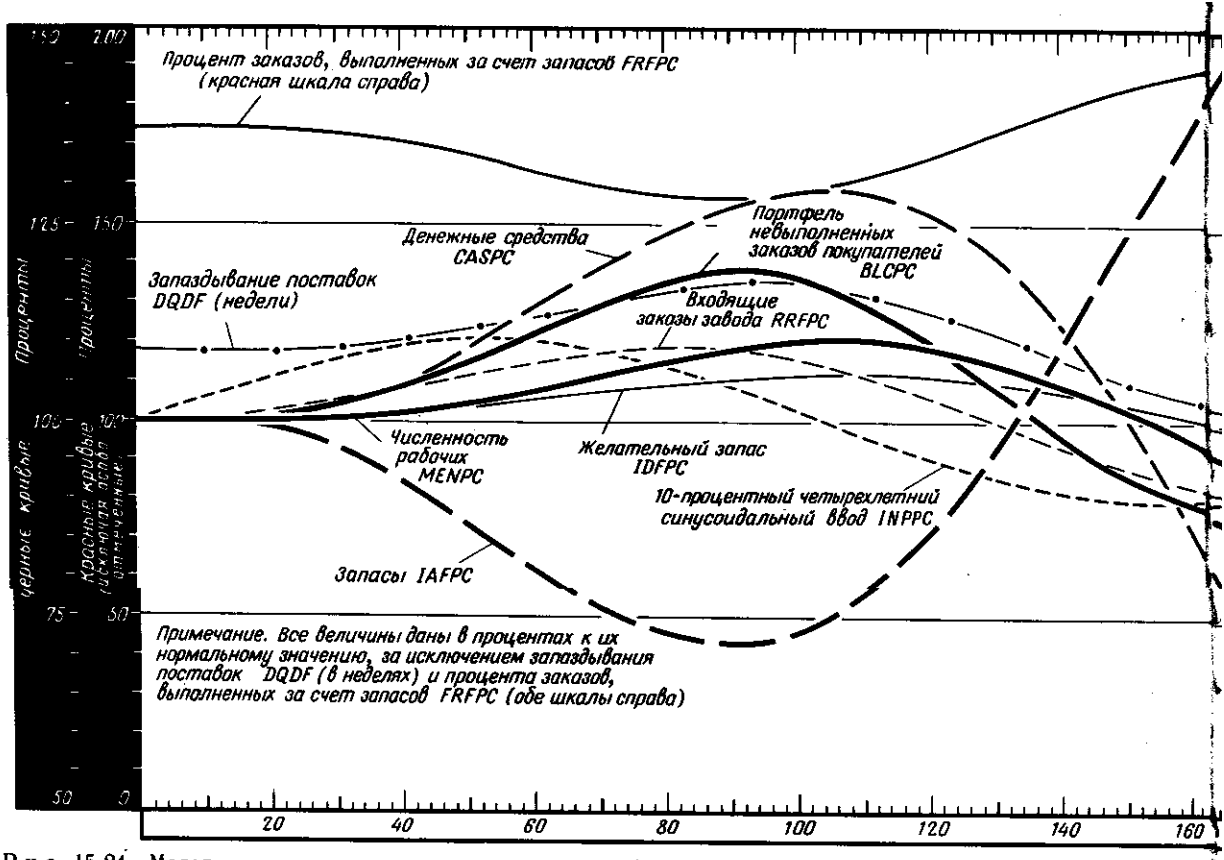
Сущность изменений в системе, отраженных на рис. 15-25, заключается в том, что новая система сохраняет преимущества более длительного периода восстановления запасов, когда она встречается с кратковременными колебаниями продаж, вызывающими лишь незначительные изменения запаса. Когда же изменение продаж является длительным, то оно сопровождается более значительным изменением запаса, а это изменение в свою очередь приводит к более решительным изменениям численности рабочих.

Нелинейная зависимость времени восстановления запасов, использованная при построении рис. 15-25, приводит лишь к едва заметным изменениям в реакции системы на переменные помехи, подобные тем, влияние которых было отражено на рис. 15-19. Равным образом, поскольку отклонения запасов в ответ на возмущение двухлетнего периода с амплитудой 10% (рис. 15-18) незначительны, изменение времени восстановления запасов делает эту разницу в испытательном вводе несущественной.

В то же время регулирование уровня запаса на новой основе вносит существенное изменение в реакцию на ввод с периодом 4 года. На рис. 15-24 показана новая система перед

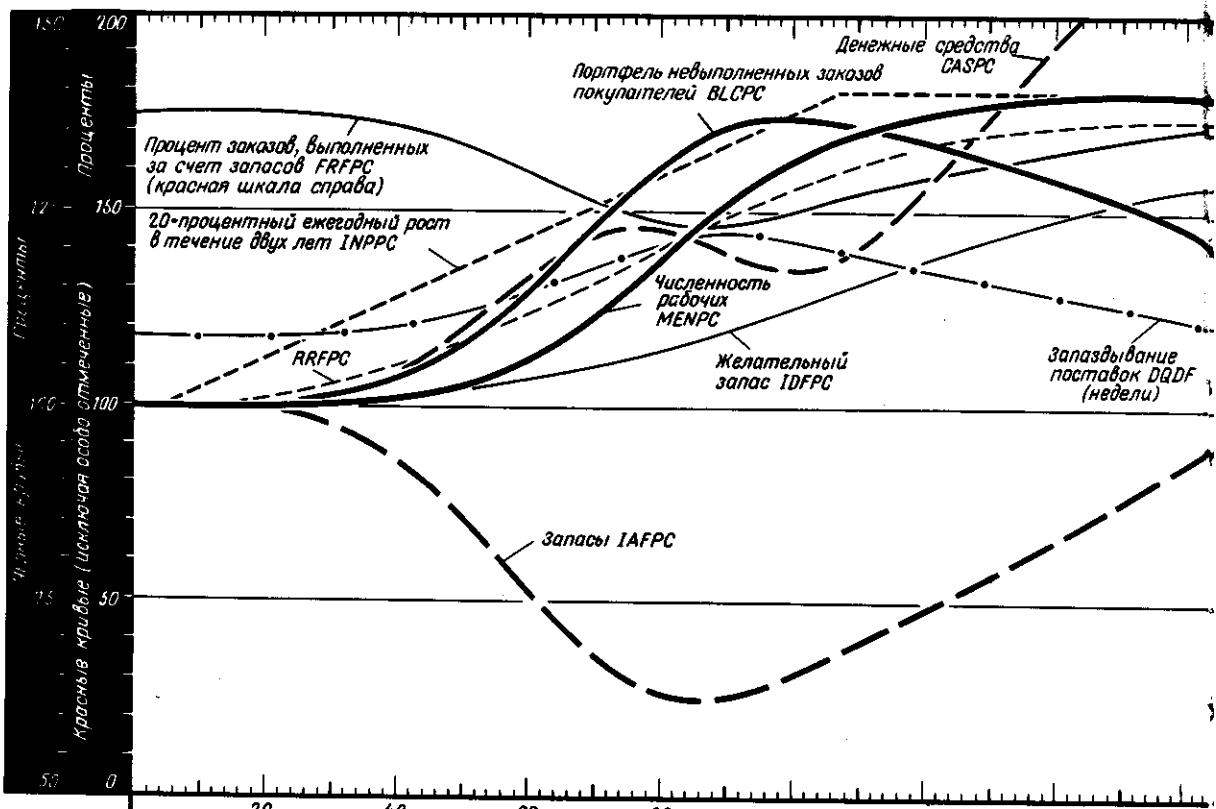
новые параметры, 20-процентное увеличение ввода за год в течение двух лет).

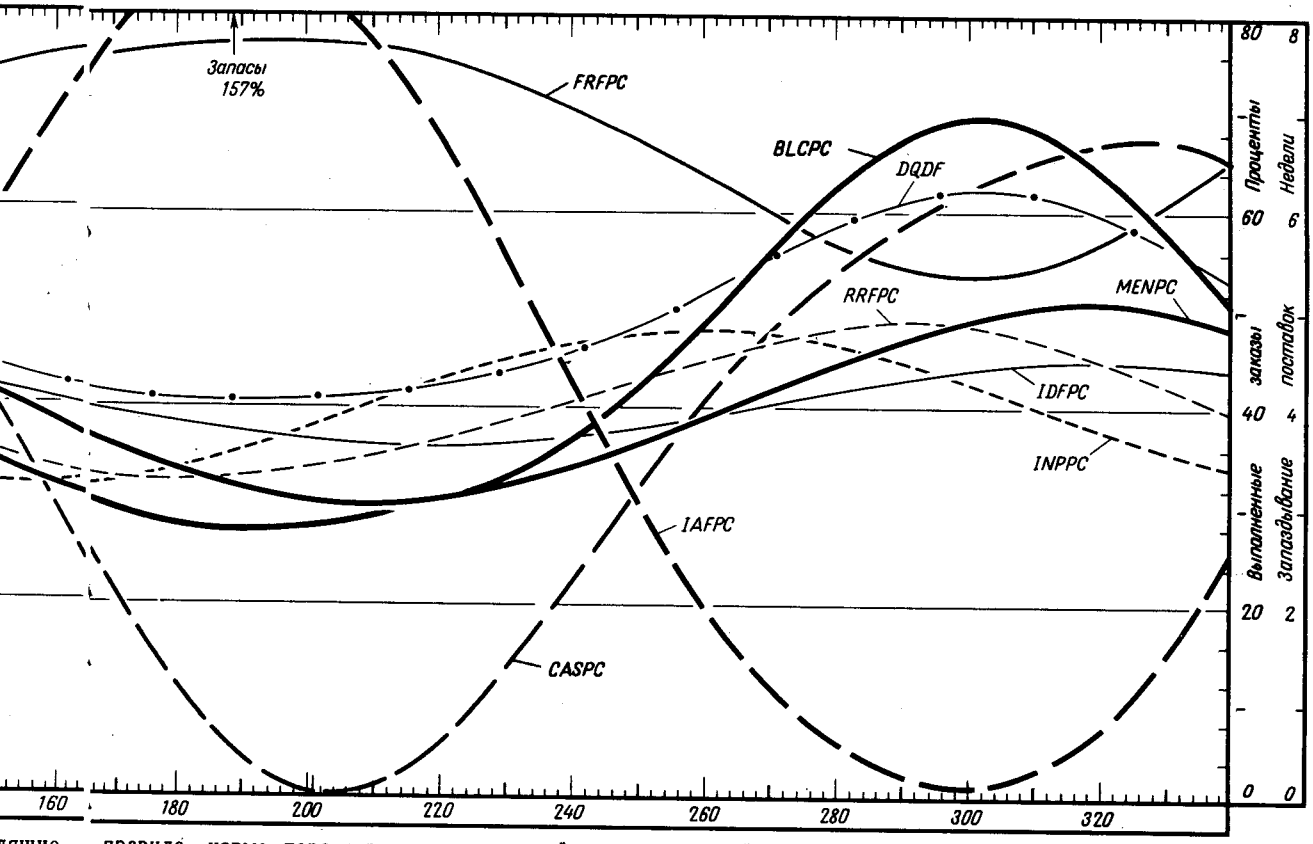




Р и с. 15-24. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (новые руководящие

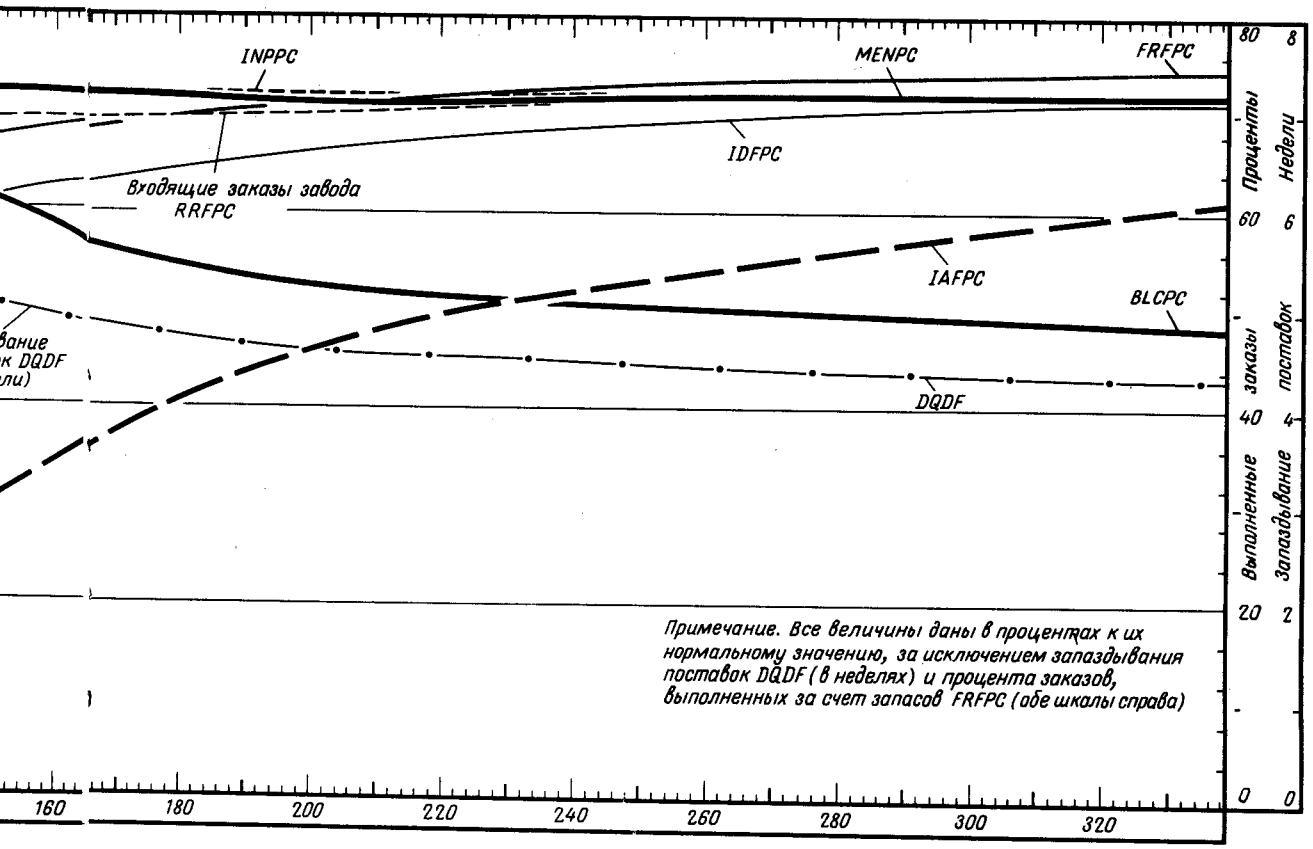
Р и с. 15-25. Модель промышленного производства деталей электронного оборудования (новые руководящие течение двух лет).





дящие правила, новые параметры, четырехлетний синусоидальный ввод).

дящие правила, новые параметры, переменное время возобновления запасов, 20-процентное увеличение ввода за год в



Примечание. Все величины даны в процентах к их нормальному значению, за исключением запаздывания поставок DQDF (в неделях) и процента заказов, выполненных за счет запасов FRFPC (обе шкалы справа)

изменением порядка регулирования запасов. После этого изменения объем запасов колеблется от 64 до 141% вместо прежних 52—157%. Максимумы запасов снизились ненамного, но их соотношение с другими переменными изменилось таким образом, что они обеспечивают значительное уменьшение колебаний наличных денежных средств. После внесения изменений наличные средства колеблются в диапазоне от 65 до 123% вместо 1—167%, как это показано на рис. 15-24. Это улучшение состояния запасов и наличных средств сопровождалось лишь небольшой потерей в стабильности численности рабочих, которая теперь изменяется в пределах от 87 до 115% вместо прежних 88—114%.

Следовательно, здесь оказалось возможным найти такие изменения структуры и руководящих правил, которые позволили освободиться от некоторых нежелательных свойств системы без какого-либо серьезного ущерба для тех сторон ее поведения, которые уже зарекомендовали себя как положительные.

15. 8. Заключение

Рассмотренная в главе 14 модель была построена с тем, чтобы отобразить организацию и руководящие правила конкретной изучаемой системы.

В разделе 15.1 были исследованы динамические характеристики старой системы. Модель достаточно верно отразила различные стороны поведения действительной системы. Поэтому она была признана достаточно надежной, чтобы служить основой для реорганизации системы.

Необходимость реорганизации определялась сильной склонностью системы к усилению возмущений с периодом в 2 года. Нежелательная чувствительность к таким периодам делает систему восприимчивой к кратковременным и случайным возмущениям даже с небольшой амплитудой.

В разделе 15.2 исследовалась чувствительность старой системы к возмущениям с тем, чтобы определить, какие ее части в наибольшей степени влияют на нежелательное поведение системы. Оказалось, что запаздывания в правилах найма рабочих, которые не были подвергнуты тщательному контролю со стороны руководства, в большой степени влияли на колебания системы.

В разделе 15.3 источники информации и правила регулирования численности рабочих были изменены. Это значительно увеличило устойчивость системы, однако возможности ее совершенствования далеко еще не были исчерпаны.

В разделах 15.4 и 15.5 уравнения и параметры, регулирующие запасы, были изменены таким образом, чтобы они способствовали уменьшению колебаний численности рабочих, а не их усилению, как это было раньше. В результате была создана система, исследованная в разделе 15.7; эта система оказалась малочувствительной к большим и длительным изменениям уровня продаж. Рис. 15-25 указывает способ регулирования системы при длительном вводе с большой амплитудой без отказа от тех улучшений, которые были достигнуты ранее в отношении чувствительности системы к случайным и кратковременным воздействиям.

Можно с достаточным основанием предположить, что изученные в данной главе пути улучшения руководящих правил системы не исчерпали всех имеющихся возможностей. Тем не менее не следует делать ошибку, стремясь к достижению совершенства руководящих правил системы. Никогда не следует откладывать осуществление очевидных улучшений в погоне за каким-либо иллюзорным, более оптимальным, вариантом.

Все изменения, сделанные в модели в данной главе, таковы, что могут быть внесены в действительную систему. Их осуществление требует образования определенной системы контроля, которая обеспечила бы их надежное и устойчивое выполнение. Требуется организация определенных потоков информации, которые ранее не использовались, но теперь могут стать доступными.

Глава 16

РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Эта глава должна показать, каким образом в динамических моделях можно отобразить те стороны деятельности промышленного предприятия, которые были оставлены без внимания в III части книги. Приводимые здесь примеры взяты из диссертаций и научно-исследовательских работ, выполненных в Массачусетском технологическом институте. Модель рынка сбыта автомобилей позволила установить взаимосвязь между разработкой конструкций и их реализацией на рынке. Модель расширяющегося производства отображает непрерывно изменяющуюся обстановку, что отличает ее от моделей, описанных в части III, которые соответствуют устойчивым динамическим системам с повторяющимися однородными периодами 5—10-летней продолжительности. Изучение товарных рынков обнаруживает неожиданные пути повышения стабильности цен. Процесс управления совершенствованием вооружений представлен в виде системы, включающей технические условия на вырабатываемую продукцию, структуру проектной организации, порядок выдачи военных заказов и включение их стоимости в государственный бюджет. Модели долгосрочного планирования могут быть использованы для интегрирования имеющихся данных и принимаемых допущений с тем, чтобы установить, как они будут взаимодействовать в будущем.

В двух моделях, представленных в части III, рассматриваются лишь весьма ограниченные аспекты общей промышленной деятельности. Один из шести введенных в разделе 5.2 потоков — поток оборудования — не был использован вообще; другой поток — денежных средств — появился в модели в главах 14 и 15 только как случайный, отчетный фактор. Из наиболее важных функциональных подразделений системы управления мы уделили внимание только производству и распределению, слегка коснулись рынка и совершенно опустили исследовательские работы, капиталовложения, долгосрочное планирование и многое другое.

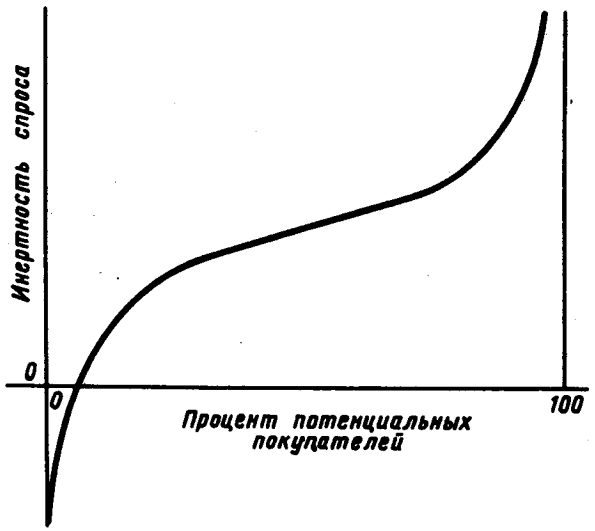
Эти опущения были сделаны не потому, что они касаются менее важных проблем или проблем, которые в меньшей степени поддаются изучению с помощью динамической модели, а также и не из-за недостатка сведений об этих трудноуловимых аспектах деятельности промышленных объединений. Дело в том, что наиболее совершенные модели выходят за рамки данной книги, а модели, находящиеся в стадии разработки, не были исследованы и проверены в такой мере, чтобы их можно было правильно показать во всей полноте. Тем не менее в сводных работах, выполненных на других моделях, было рассмотрено много интересных вопросов и сформулированы выводы предварительного характера. В настоящей главе мы постараемся закончить описание моделей, представленных в части III, рассмотрев с помощью выдвинутой в этой книге методики основные моменты, вытекающие из изучения других промышленных ситуаций.

16. 1. Динамика рынка

Все, кажется, склонны считать, что механизмы рынка неизвестны, что психологические факторы преобладают над материальными и что моделирование рыночных взаимодействий почти невозможно. Я придерживаюсь противоположного мнения, хотя очевидно, что многие из рыночных характеристик наблюдать труднее, чем, скажем, процессы производства на заводе.

Существование большинства рыночных динамических взаимодействий бесспорно: цена меняется в зависимости от полезности и наличия заменителей продуктов; покупка откладывается в зависимости от наличия денег у покупателя; повторные покупки производятся в зависимости от степени удовлетворения предшествующими покупками; на новых покупателей оказывают влияние оценки и отзывы прежних покупателей. Немалую роль играют изношенность и сроки замены ранее купленных

изделий, степень насыщенности рынка, распределение потенциальных покупателей по группам от смелых экспериментаторов, всегда готовых испытать новые изделия, до консерваторов, ожидающих доказательств их высокого качества (см. рис. 16-1); затем — факторы фантазии и престижа, стиля [1], рынка подержанных



Р и с. 16-1. Пример функциональных зависимостей рыночных явлений.

вещей и их цен, изменений моды и покупок про запас на случай повышения цен и нехватки товаров. Неопределенными остаются относительное значение и возможные взаимодействия ряда факторов, о существовании которых мы знаем.

Для рынка характерны многочисленные взаимодействующие явления, из которых многие, хотя их существование не вызывает сомнений, при выполнении количественного анализа не рассматриваются из-за ошибочного положения, будто факторы, которые в настоящее время не поддаются точному измерению, должны быть исключены. Используя только информацию, которой мы располагаем, и благодаря нашему практическому опыту мы можем установить по крайней мере *форму* многих из этих умозрительных связей. Нам часто будет необходима информация для установления одной или нескольких точек кривой с целью ее наиболее точного определения. Рис. 16-1 показывает возможную внутреннюю характеристику, определяющую отношение потенциальных покупателей к изделию. Эта характеристика, названная «нежеланием покупать», является тем фактором, который определяется психологической сущностью потенциальных покупателей, а не их осведомленностью о продукте или о других факторах, которые могли бы быть включены в модель каждое в отдельности подобным же образом. Приведенная характеристика распределяет покупателей в определенном порядке, соответственно их «нежеланию покупать». Отрицательное значение этой характеристики в нижней ее части представляет тех экспериментаторов и новаторов, которые разыскивают новое изделие и хотят его купить еще до начала открытой продажи. Таких покупателей немного. Главный рынок представлен широкой линией в середине, где намерение покупать растет медленно; при этом рынок расширяется. Наконец, кривая «нежелания покупать» поднимается круто вверх, когда мы приближаемся к покупателям, требующим большей убедительности, уступок в цене, технической помощи и содействия окружающих прежде, чем изделие привлечет их (например, продажа электрических платяных сушилен для кочевников в пустыне с годовым доходом 600 долл. при отсутствии электроэнергии). Вдумчивое рассмотрение даже формы такой кривой по отдельному изделию достойно награды. Продажа некоторых изделий зависит от покупателя-новатора, зачинателя роста рынка. Другие изделия могут оказаться в затруднительном положении, если притягательность изделия достигает предела в широком, ровном, центральном районе кривой, где небольшие изменения наклона ее могут вызвать большие изменения спроса. Скорость, с которой такая кривая переходит из одной области в другую, определит — в большой зависимости от сопровождающих кривых, характеризующих изделие,— ту настороженность, с которой руководство должно действовать, регулируя планы производства и сбыта, изменяющиеся во всей отрасли промышленности. Первый шаг в изучении — это установление основного рынка и более важных характеристик изделия, затем — оценка формы и величины этих функций независимо от их незначительности, и, наконец, надо установить, какие предположения являются решающими в определении поведения системы.

Наша интуиция в области рыночной динамики ненадежна. Мы экспериментируем на

[1] О динамике изменений стиля см. интересную статью Робинсона (D w i g h t E. R o b i n s o n, Fashion Theory and Product Design, Harvard Business Review, Vol. 36, № 6, November — December 1958, p. 126—138).

воображаемой модели, в которой принимаемые исходные положения, может быть, никогда не приведут к предполагаемым результатам. Мы никогда не сможем узнать всю несовместимость принятых нами предположений. Конструирование модели строго по правилам вносит ясность в наше мышление и проливает свет на вкравшиеся непоследовательности.

Как и по другим частям промышленной системы, модель рынка будет состоять из уровней и темпов потока. Модель может отображать либо установившиеся динамические явления, либо включать процесс роста фирмы и другие факторы, характеризующие весь период, в течение которого осуществляются проектирование, производство и реализация данной продукции, показывающие развитие спроса, появление конкуренции и возникновение все новых усовершенствований производства.

В модели, охватывающей весь этот период, состав покупателей представлен следующими категориями: никогда не слышавших об изделии, знакомых с ним, но еще не покупавших, сделавших первую покупку, удовлетворенных ранее приобретенным изделием и возобновляющих покупку и, наконец, неудовлетворенных изделием и воздерживающихся от покупок. Потоки между ними были бы нелинейными функциями тех же самых уровней покупателей, уровней информации и осведомленности, какие существуют в системе, а также уровней производства, конкуренции и альтернативного выбора.

Целью подобного исследования прежде всего было бы понимание динамики рынка при различных обстоятельствах. При каких условиях преобладает влияние отдельного фактора? Какие индикаторы показывают изменения динамического характера рынка, начиная с высокоприбыльного первоначального роста до насыщения и кончая бесприбыльной конкуренцией? Каково относительное значение различных динамических (то есть меняющихся во времени) характеристик самого изделия, например его выставочная привлекательность, в сравнении с удовлетворением, которое оно доставляет его обладателю, или время, необходимое покупателю, чтобы научиться им пользоваться?

Приведенные типы уровней, темпов и взаимосвязей между продуктом и его рынком существуют по каждому изделию. Мы можем представить себе модель с общей целью, пригодной для любого рынка. Различия между железнодорожным дизель-мотором и игрушечным обручем проявились бы в разное время, необходимое для создания конструкции, или в различной степени привлекательности изделий, или в продолжительности периода, требующегося для обучения покупателя правилам обращения с изделием, и т. д. Но прежде, чем мы получим обобщенную модель динамических взаимодействий рынка, мы должны исследовать многочисленные отдельные аспекты, рассматривая при этом только наиболее важные факторы.

Одной из частных моделей рынка являются созданные Франклином Уолтером весьма интересные динамические модели рынка автомобилей и модель правил управления, воспроизводящая деятельность фирмы на рынке [1].

Уолтер поставил целью исследовать возможные взаимоотношения между проникновением на рынок (процентом участия на рынке) отдельной фирмы и ее руководящими правилами, регулирующими время от начала разработки новой конструкции до появления новой машины в продаже. Автомобили в Соединенных Штатах переконструируются каждый год. Период конструирования может продолжаться от 18 месяцев до 4 лет, так что продолжительность разработки конструкции больше продолжительности жизни машины на рынке.

Здесь сразу возникает несколько вопросов. Что представляет собой автомобиль с точки зрения предпринятого исследования и создаваемой динамической модели? Далее, перед какой дилеммой стоит руководитель, разрабатывающий правила решения вопроса о времени, необходимом для соответствующей разработки? Любое значительное решение требует, чтобы намеченное время исполнения не было ни слишком долгим, ни слишком коротким. Правильно построенная система информации с обратной связью должна быть в состоянии вызвать различные последствия как слишком больших, так и слишком малых сроков исполнения. Директивные решения характеризуются своим стремлением прокладывать линию посредине между нежелательными крайностями. Существование дилеммы не было выявлено в моделях, описанных в главах 13 и 14, ввиду простоты и ясности рассматриваемых там систем. В главе 13 главное решение касалось за-

[1] См. диссертацию, написанную под руководством автора данной книги Франклином Уолтером, стипендиатом Массачусетского технологического института от корпорации Крайслера в 1958—1959 гг. (An Analysis Relating Lead Time and Market Penetration in the Auto Industry, 1959, Section 19.1).

каза товаров поставщику. Неправильный объем заказов привел бы к такому уровню складских запасов, который был бы слишком высок или слишком низок, а это стало бы показателем необходимости внести коррективы в предстоящие решения о заказах. В главе 14 одно из важных решений касалось уровня численности рабочих; здесь слишком высокий уровень численности привел бы к образованию излишков запасов, а слишком низкий — к их недостатку. Какова же дилемма, связанная с последствиями слишком продолжительного или слишком короткого периода разработки нового автомобиля в системе их производства и рыночной продажи? Много ответов могло бы быть дано в зависимости от принятого аспекта изучаемой отрасли. Нет необходимости, чтобы излагаемое здесь отдельное исследование касалось всех важных аспектов автомобильной промышленности, но оно должно заниматься одним из наиболее важных узлов взаимодействий.

Как показал Франклин Уолтер, короткий период разработки нового автомобиля позволил бы фирме быть более осведомленной о том, что предпочитают новые покупатели и каковы новые направления в области проектирования и стиля. Новые усовершенствования и рыночные увлечения могли бы быть учтены и включены в конструкцию прежде, чем они распространились и угасли как рыночные факторы. Однако сокращение периода создания автомобиля означает уменьшение промежутка времени для построения экспериментальных моделей, для выявления дефектов конструкции и для выполнения множества мелких деталей. Наоборот, более продолжительный период конструирования должен вести в определенных пределах к большему материальному совершенству, хотя существует опасность, что конструкция не учтет тенденций рыночного спроса. Именно здесь находится дилемма, которую должен решить руководитель: когда приостановить и когда продолжить последовательно конструирование, испытания и доводку.

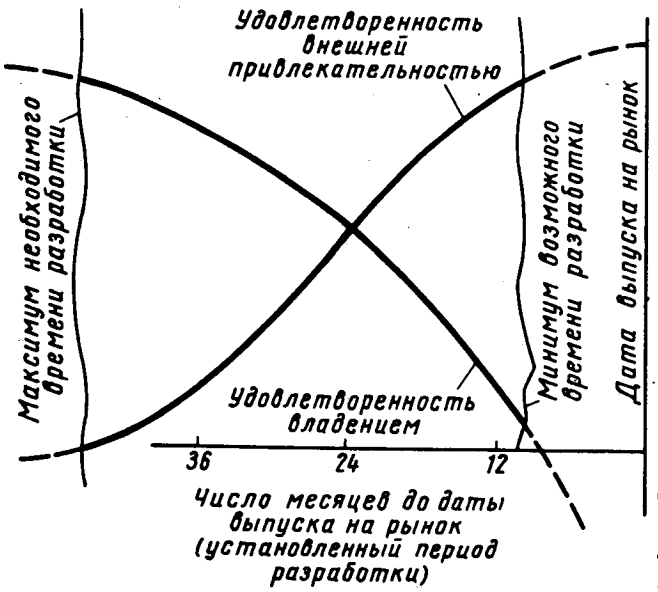
Что же в этом контексте представляет собой динамическое описание автомобиля? Такие материальные показатели, как расход бензина, высота хвостовых ребер и окраска, не являются, по-видимому, теми факторами, которые следовало бы непосредственно включить в модель. Как же связан результат решения о продолжительности разработки с меняющимся во времени поведением рынка? В настоящем исследовании вопрос о формулировке системы решался путем определения двух показателей автомобиля — внешней привлекательности и удовлетворенности владельца. Эти две характеристики могут определить взаимосвязь в продолжительности разработки и реакции рынка.

Внешняя привлекательность объединяет все те характеристики изделия, которые делают его притягательным для потенциального покупателя, не имеющего предшествующего опыта в пользовании такого рода изделием. Это, можно сказать, его первоначальная школа; сюда же надо добавить рекламу, распространенность изделия и, следовательно, осведомленность о нем, репутацию в отношении производственных характеристик и т. д.

С другой стороны, удовлетворенность покупателя связана с такими характеристиками изделия, которые воздействуют на его мнение и в конечном итоге склоняют его вновь приобрести изделие той же марки.

Ясно, что отдельная материальная характеристика изделия не должна исключительно относиться к первой или второй из указанных двух категорий. Все же, когда дается отдельная характеристика, обычно становится ясно, будет ли она более убедительной в момент продажи или она окажет сильнейшее давление на человека, который покупку уже совершил и является владельцем. Например, общий стиль автомобиля определит главным образом внешнюю привлекательность, а исправно действующие дверные ручки вызовут удовлетворенность владением машины.

Рис. 16-2 показывает представляющуюся приемлемой форму соответствующих кривых как функцию установленного времени разработки изделия. Нельзя ожидать, что в пределах безусловно короткого времени разработки его дальнейшее сокращение заметно увеличит внешнюю привлекательность, так как в такие короткие сроки выявление рыночных тенденций было бы неощутимым или незначительным. Кривая должна поэтому быть горизонтальной, когда она подходит к сроку выхода изделия на рынок. С другой стороны, внешняя привлекательность может снизиться довольно быстро, когда время разработки растягивается на трехлетний период, который обычно характеризует продолжительность жизни причуд стиля. После 4 лет разработки изделие не должно ориентироваться на современность, принимать нейтральный стиль, не опираться более на текущие колебания моды, и внешняя привлекательность автомобиля опять будет мало изменяться в



Р и с. 16-2. Внешняя привлекательность и удовлетворенность владением в зависимости от установленного времени разработки.

вом четкого, хотя и переменного, расчленения этих двух категорий. Промежуточная зона с повторной покупкой в зависимости от обоих показателей — внешней привлекательности и удовлетворенности владельца — была бы возможна, но она бы ничего не добавила к первоначальному исследованию системы производства — рынка. Каждый год после покупки автомобиля особой модели определенный (и различный) процент владельцев опять возвращается на рынок. Это показано на диаграмме потоков на рис. 16-3. Определенный переменный процент прежних владельцев модели *A* вновь покупает ту же модель, какой они владели, исходя из своего опыта пользования этой машиной в прошлом. Те, кто повторно не покупает, обращаются к моделям *B* или *C* в зависимости от факторов относительной внешней привлекательности этих двух моделей. Такое же деление рынка существует и по двум другим моделям, составляющим вместе с первой автомобильный рынок, где конкурируют друг с другом три фирмы. Конечным этапом в разработке системы информации с обратной связью было

зависимости от продолжительности его разработки.

В противоположность этому удовлетворенность владением будет постепенно увеличиваться при возрастании периода разработки свыше четырех лет, но с сокращением этого периода до 1 года, будет, несомненно, ухудшаться очень быстро.

Затем динамическая модель воспроизводит поток проектов автомобилей для каждой конкурирующей фирмы данной отрасли.

Коэффициент удовлетворенности владением автомобилями данной марки характеризуется продажей их в течение всего срока службы автомобиля данной марки; коэффициент внешней привлекательности должен быть связан с изделием только в продолжение периода разработки плюс год нахождения в продаже.

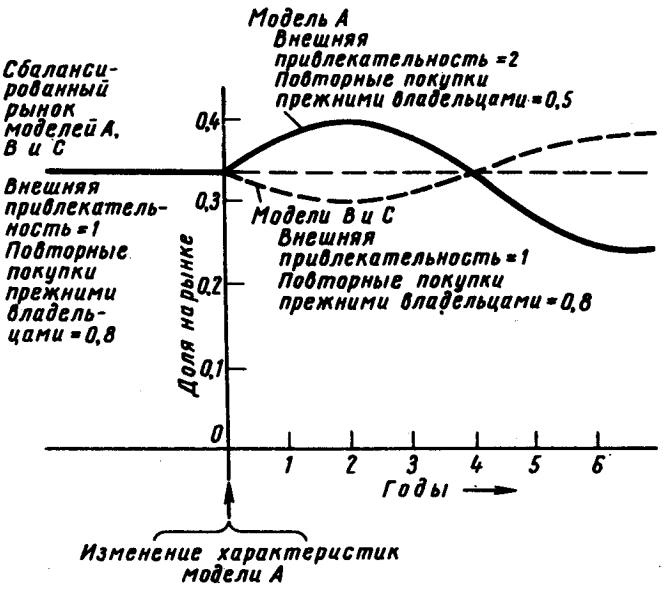
Некоторые покупатели бывают так довольны ранее купленными марками машин, что автоматически вновь покупают автомобили только этих марок. Другие покупатели, напротив, настолько не удовлетворены своей прежней покупкой, что ищут машины только других марок. Значительная промежуточная зона между этими двумя крайностями была для настоящего исследования выяснена посредст-

Р и с. 16-3. Потоки покупок автомобилей.

бы определение руководящих правил каждой фирмы, устанавливающих, каким образом информация о положении на рынке приводит к выбору периода разработки будущего изделия [1].

Эта модель показывает, как различно может вести себя система при различных значениях параметров. Если высокая удовлетворенность владением недостижима, то есть если нельзя обеспечить склонность покупателей к приобретению товаров данной фирмы, тогда главное значение приобретает внешняя привлекательность. С другой стороны, это также показывает, что если фирма сумеет повысить удовлетворенность покупателей владением и закрепить тем самым их за собой, то она сможет сохранить свои позиции даже при возможных дефектах в части внешней привлекательности. Очень высокий коэффициент удовлетворенности владением содействует сохранению прежних покупателей; между тем даже небольшая внешняя привлекательность настойчиво отрывает от других моделей некоторый поток неудовлетворенных покупателей, пока не установится равновесие, при котором модель с высоким коэффициентом удовлетворенности владением получит непропорциональную долю на рынке.

Некоторые простые аспекты этой ситуации показывают кривые на рис. 16-4. Здесь принимается маловероятное начальное условие, по которому три конкурирующих друг с другом автомобиля идентичны по внешней привлекательности и коэффициенту повторных покупок прежними владельцами; поэтому их доли на рынке равны. Предположим, что произвольная величина коэффициента внешней привлекательности составляет 1,0, а коэффициент повторных покупок каждого изделия равен 0,8. Это значит, что 0,8 прежних владельцев каждой модели покупает ту же марку при замене прежних своих машин. Теперь предположим, что одна из фирм находит средство, позволяющее навсегда удвоить внешнюю привлекательность выпускаемой машины, но в то же время коэффициент повторного владения может упасть до 0,5. Было ли бы это разумным? В отношении многих изделий подчеркивание значения стиля, рекламных обещаний и предполагаемого устаревания модели указывали бы на то, что правила управления ставят внешнюю привлекательность выше удовлетворенности потребителя. Рисунок показывает общий характер сдвига, который последовал бы за таким изменением характеристик модели A. Коэффициент повторных покупок остается высоким, поскольку изделия, находящиеся в руках покупателей, куплены главным образом еще до наступления перемены в правилах производства. Так как внешняя привлекательность в два раза выше, чем у конкурентов (это значит, что модель A захватывает в два раза больше рыночного объема, чем ее конкуренты), то продажи начинают увеличиваться. Это может продолжаться год, два или три. Затем, так как в руках покупателей находится все больше моделей, владение которыми не дает должного удовлетворения, коэффициент повторных покупок начинает падать, и в конечном счете общее количество моделей A, находящихся в пользовании, уменьшается. Устанавливается новое равновесие, при котором проникновение на рынок модели A ниже первоначального, а то, что эта модель потеряла на рынке, переходит к другим моделям.



Р и с. 16-4. Сдвиг на рынке вследствие изменения характеристик одного изделия.

Если такая ситуация характеризует особенности фирмы и ее репутацию на рынке, то

[1] Франклин Уолтер не довел формулировку системы до последнего этапа обратной связи; он больше занимался вопросом о том, как величина устанавливаемого времени разработки новой модели воздействует на рыночные переменные.

опасности, стоящие перед руководством, ясны. Реальная ситуация никогда не будет так идеально чиста, как это только что показано, ибо проявляется влияние многих других факторов, которым можно приписать изменения в доле фирмы на рынке. Если бы продажи поднимались в течение двух или трех лет, то это подтвердило бы правильность первоначального решения, хотя то же решение приведет на четвертом году к снижению доли на рынке. Любое уменьшение продаж вплоть до уровня четвертого года после решения можно было бы приписать неблагоприятным влияниям последнего времени. Здесь наблюдается обычное противоречие между краткосрочными и долгосрочными действиями, влияние которых может быть усилено кратковременным пребыванием на руководящих должностях тех или иных лиц. Руководитель E, появившийся на сцене и разрабатывающий руководящие правила в начале периода, показанного на рис. 16-4, мог получить благоприятный отзыв и быть выдвинутым еще до того, как начнется период спада продаж. Руководитель F, появившийся после четвертого года, сталкивается со спадом продаж. Если он теперь отменяет решение, принятое в начале периода, и ориентируется на факторы удовлетворенности владельца, он столкнется с движением предыдущей кривой в обратном направлении, и уменьшение продаж будет продолжаться на четвертом и пятом годах, пока не начнется некоторое их увеличение.

Решения руководства об установлении времени разработки новой модели подвергаются сильному влиянию информации о рынке; но будет ли эта информация должным образом истолкована? Прохождение информации по цепи обратной связи: решение об установлении времени разработки, период разработки, период покупки и использования автомобиля, факторы повторной покупки, время для выяснения значения этого рыночного факта и, наконец, снова принятие решения об установлении времени разработки — может потребовать от четырех до восьми лет. Все эти прошлые решения об установлении времени разработки «откладываются» в системе. В ней может содержаться не один полный цикл колебаний решений руководства относительно времени разработки. В этой ситуации существует большая опасность сделать неправильные выводы из доступной информации, если не будет полного понимания многих существующих в системе динамических взаимодействий.

16. 2. Рост продукции

Наибольший интерес представляет применение динамического моделирования при изучении роста фирмы и ее продукции. Развивая нашу точную формулировку динамической модели процесса роста, мы можем отделить решающие моменты от несущественных. Динамика роста приобретает наибольшее значение в тех отраслях экономики, где технология быстро идет вперед, а «продолжительность жизни» изделия остается короткой.

Какие комбинации характеристик изделий, руководящих правил фирмы и условий рынка благоприятствуют высокой прибыльности и быстрому росту? Какое влияние оказывают финансирование оборудования, налоговая политика и затраты для развития рынка? Почему много новых компаний не имеет успеха, а с другой стороны, какие факторы поддерживают в других организациях годовой прирост продукции на уровне 30—50%? Мы обычно говорим, что в этом проявляется различие между плохим и хорошим руководством. Но какие меры были приняты хорошим руководством и могут ли они применяться более широко?

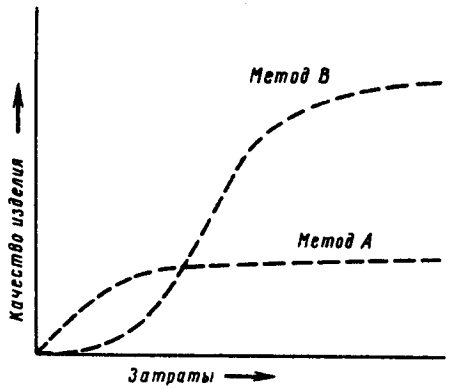
На первый взгляд кажется, что начинать анализ динамики роста продукции с абстрактного и общего примера, а не с модели отдельного изделия было бы неправильным. Конечно, эту общецелевую модель необходимо построить на основе обширных знаний процессов, которые должны быть в ней представлены; но не следует ставить модель в исключительную зависимость от изучения единичного факта.

Если мы встанем на путь обобщений, то обязательно рассмотрим имеющие здесь значение основные взаимосвязи. Отсутствие отдельного изделия, которое могло бы быть опорным, не должно нас ввести в заблуждение и заставить преждевременно интересоваться материальными характеристиками отдельных деталей. Мы должны рассмотреть те основные взаимосвязи, которые имеют динамическое значение и могут относиться к любому изделию. Позднее можно будет истолковать их применительно к единичному изделию.

Рис. 16-5 служит в качестве иллюстрации того, что имеется в виду под основными и общецелевыми взаимосвязями. Здесь показывается качество [1] изделия, необходимое для удовлет-

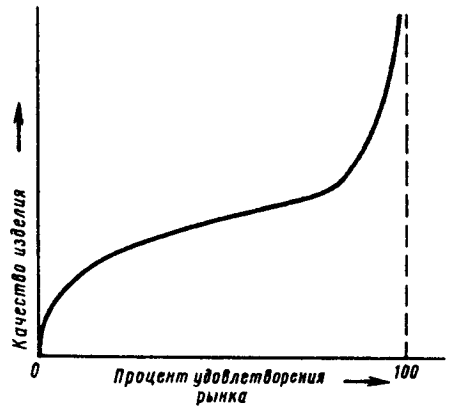
[1] «Качество» здесь понимается как комбинация всех характеристик: «продолжительность жизни» изделия, точность, компактность, исполнение, которые нигде в другом месте модели не представлены.

ворения различного числа потенциальных покупателей. Пока не будет получен определенный уровень качества, изделие не будет отвечать потребности любого потенциального рынка. Но, достигнув этого уровня, нарастание



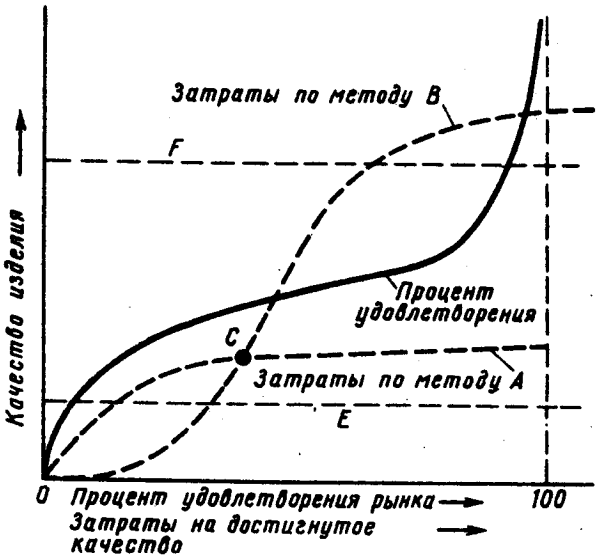
Р и с. 16-5. Качество в зависимости от процента удовлетворения рынка.

качества быстро расширяет возможный рынок. Наконец, для удовлетворения наиболее взыскательного спроса требуется и более значительное улучшение качества.



Р и с. 16-6. Качество в зависимости от стоимости усовершенствования изделия.

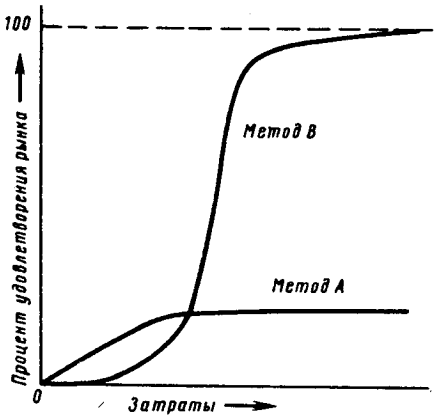
Две кривые на рис. 16-6 описывают достигаемое качество продукции как функцию человекочасов, затрачиваемых на исследование и развитие. Можно, конечно, выбирать между различными возможными техническими методами усовершенствования изделий. Эти различные методы характеризуются разнообразными взаимосвязями качества и затрат, как это показано на рисунке. Метод *A* представляет общеизвестный подход, который может быть использован для скорейшего получения дохода при небольших затратах. Как видно на рисунке, его потенциал высшего качества ниже, чем у метода *B*. По методу же *B* качество вначале ниже, и потребуются значительные расходы на исследование и развитие прежде, чем появится надежда на получение изделия высокого качества. Однако предельный потенциал качества по методу *B* значительно выше, чем по методу *A*.



Р и с. 16-7. Затраты по сравнению с удовлетворением.

Влияние этих двух кривых становится более наглядным, когда они переносятся на рыночные характеристики предыдущего рисунка. Такую комбинацию показывает рис. 16-7. Горизонтальные шкалы различны для рыночного процента и затрат, поэтому горизонтальное размещение между кривыми затрат и удовлетворения не является показательным. Однако горизонтальные линии, как *E* или *F*, дают нам возможность сравнивать затраты с удовлетворением. Линия *E* пересекает обе кривые методов *A* и *B*. На этом уровне качества видно, что метод *B* более дорогостоящий. Однако линия *E* отражает очень небольшое проникновение изделий на рынок. В пункте пересечения *C* при одном и том же качестве изделия затраты одинаковы. Выше пункта *C* метод *B* при одних и тех же затратах дает изделия лучшего качества. По уровню качества, представленному линией *F*, технически осуществим только метод *B*.

Перестроив графики рис. 16-7, мы можем получить рис. 16-8, который показывает процент удовлетворения рынка в зависимости от затрат по той же горизонтальной шкале, что и прежде, а удовлетворение рынка — по вертикальной шкале. На рис. 16-7 кривая, соответствующая методу *A*, вначале имеет такую же форму, как и кривая удовлетворения. Поэтому кривая метода *A* на рис. 16-8, прямолинейная в начальной части, указывает, что проникновение на рынок пропорционально расходам на развитие. По методу *B* удовлетворение сравнительно с затратами на усовершенствование изделия очень различно. Выше пункта *C* на рис. 16-7 качество быстро поднимается с ростом затрат, а проникновение на рынок быстро



Р и с. 16-8. Удовлетворение в зависимости от затрат по двум различным технологическим подходам к изделию.

увеличивается с ростом качества. Это ведет к очень крутому подъему проникновения на рынок сравнительно с затратами на развитие, как это видно по кривой метода *B* на рис. 16-8.

Кратковременное преимущество метода *A* может привести некоторых руководителей к предпочтению технологического подхода, не соответствующего потенциальным возможностям роста. Они выбирают более «легкий» путь, в пользу которого говорят финансовые и эмоциональные мотивы. Но такой выбор не выдерживает сравнения с преимуществами, которые дает применение метода *B*, даже если они немедленно не скажутся.

Характер анализа кривых на рис. 16-8 статичен; он показывает возможный устойчивый результат, если бы затраты на усовершенствование и удовлетворение были единственными переменными. Он не показывает ни разрыва во времени, который должен быть преодолен, ни вклада, который должен быть сделан другими переменными, которые изменяются в то же самое время.

Такие кривые, как приведенные на рис. 16-5 и 16-6, типичны для нелинейных функций, которые должны применяться при описании общего характера рынка и изделия [1]. Много других характеристик надо было бы также включить для определения различных величин, свойственных изделию, рынку, конкуренции и владельцу предприятия.

Изложенные в этой книге методы анализа роста продукции и фирмы применил в своей работе Эдвард Кинсли [2]. Он построил на основании своего опыта динамическую модель из 160 переменных, показывающих взаимоотношения при производстве и реализации нового

---

[1] Мы часто наблюдаем ситуации, подобные выбору между методами *A* и *B*, в новых, быстро развивающихся отраслях. Метод *A* иллюстрирует подход, который в первое время легче, и поэтому им предпочитают пользоваться вопреки присущим ему ограниченным возможностям; для осуществления этого метода принимаются планы усовершенствования, которые могут привести к большим расходам. Совершенно другой подход, ставящий более сложные задачи, может оказаться в конечном счете наименее дорогим, так как ему присущ более крупный потенциал. Примеры этому можно найти в каждой отрасли промышленности, в особенности в первый период быстрых технологических перемен. Например, разработка в последнее десятилетие быстродействующего запоминающего устройства для цифровых вычислительных машин. В период около 1950 г. метод *A* был использован при разработке трубок электростатических накопителей памяти с лучевым отклонением; это был небольшой шаг вперед, но шаг многообещающий с точки зрения возможных результатов небольших усилий. Однако этот метод с неизбежностью ограничен коротким сроком службы и ненадежностью вакуумных трубок. Метод *B* был в это время представлен произвольным порядком выборки информации из накопителя с магнитным сердечником. Этот метод обещает неограниченный срок службы и превосходные эксплуатационные качества, но он требует много предварительных усилий для усовершенствования материалов, прежде чем стать конкурентоспособным. В момент пересечения этих двух технологий (около 1953 г.), как на рис. 16-7, темп повышения скорости работы накопителя памяти с магнитным сердечником был таким быстрым, что в течение двух или трех лет он превзошел все конкурирующие методы скоростных накопителей в цифровых вычислительных устройствах.

[2] См. диссертацию, которую под руководством автора написал Эдвард Р. Кинсли — стипендиат Массачусетского технологического института от компании «Техасские инструменты», 1958—1959 (Edward R. Kinsley, The Managerial Use of Industrial Dynamics as Illistrated by a Company Growth Model, 1955, Section 19.2).

изделия. Модель можно считать либо моделью производства одного изделия крупной фирмы, либо моделью роста небольшой фирмы в первое время, когда она еще зависит от общего представления о ее первоначальной продукции.

Эта математическая модель, отражающая весь цикл жизни изделия, включает подготовительную работу шести секторов внутри фирмы (производство, персонал, оборудование, денежные средства, торговля, исследования и усовершенствования) и двух внешних секторов (рынок и ценообразование с учетом конкуренции).

Говоря о типичной, хотя и гипотетической фирме, представленной моделью, Эдвард Кинсли замечает: «В общих чертах ее можно определить как фирму, основанную для исследований без других отождествляемых характеристик. Это определение преднамеренно смутное... Характеристики, приписываемые в ходе построения математической модели простой фирме, можно считать типичными для многих фирм». При рассмотрении процессов выработки новой продукции можно увлечься особенностями отдельного изделия и запутаться в трактовке его поверхностных характеристик. В предыдущем разделе при рассмотрении автомобильного рынка мы видели, как физическая характеристика изделия сумела превратиться в более основательную точку зрения о понятиях производства, составляющих различные фазы в жизни изделия. Здесь, рассматривая *типичный* цикл жизни нового изделия, Эдвард Кинсли избегает опасности преждевременного сосредоточения на особом случае. Модель строится вокруг общего описания целого класса положений, которые она исследует. Чтобы этот метод стал успешным, необходимо близкое знакомство с фактическими проблемами, процессами и факторами, включенными в данную систему. Это в общем доступно только человеку с тонким пониманием характера производимого эксперимента. Однако, используя свой особый личный опыт, необходимо извлекать соответствующие выводы, чтобы получающуюся динамическую модель сделать пригодной для *любого* представителя всего класса рассматриваемых изделий. В этом примере математическая модель имеет дело с сущностью процессов, которые приводят новое изделие на рынок. В модель включаются те константы и параметры, которые математик считает основными, определяющими взаимоотношения между различными секторами системы.

В качестве простого примера одной из основных характеристик рассмотрим продолжительность времени от начала исследования технической идеи создания любого изделия до разработки конструкции, готовой к запуску в производство. (В действительности этот параметр имеет по крайней мере два измерения, так как усовершенствование изделия может потребовать определенного количества человеко-часов и, кроме того, какого-то минимума календарного времени.) Рассматривая только продолжительность времени, необходимого для усовершенствования, и оставляя пока другие условия неизменными, мы можем эту продолжительность времени сопоставить с другими промежутками времени, характерными для системы. Так, изделие можно характеризовать временем, необходимым для установки производственного оборудования или потребным типичному покупателю на рынке, чтобы ознакомиться с самим изделием и условиями его применения. Взаимоотношения между отрезками времени, необходимыми для усовершенствования изделия, его производства и изучения на рынке, учитываются при расчетах «продолжительности жизни» изделия. Возьмем для примера два разных изделия.

По первому изделию время усовершенствования очень велико, изучение на рынке также достаточно продолжительно, а на изготовление изделия требуется немного времени. Это говорит о том, что по данному изделию высокая прибыльность вследствие технологической монополии нереальна. Чертежи нового изделия и его образцы должны выпускаться на рынок в течение длительного времени, чтобы покупатели могли научиться использовать изделие. Информация, следовательно, доступна любому потенциальному конкуренту, который может пустить это же изделие в производство скорее, чем характеристики изделия на рынке приведут к росту последнего. Подобного рода изделие — одно из тех, по которым инициаторы его конструкции могут и не быть главными производителями, когда рынок расширится [1].

По другому изделию время изучения на рынке очень короткое, производственное оборудование дорогое, технология сложна и требуется большой период времени на усовершенствование. В этом случае рынок может развиваться почти одновременно с выпуском продукции и далеко опережать выпуск продукции конкурентом. Такая комбинация характеристик

[1] К числу таких изделий можно отнести транзисторы.

способствует установлению высоких прибылей для возмещения затрат на усовершенствование изделия и оборудование [1].

16. 3. Товары

В 13-й главе нами было рассмотрено влияние покупателя товаров в рознице на завод. Если мы посмотрим на экономическую систему за пределами завода, то найдем различные системы товарного снабжения, имеющие дело с сельскохозяйственными продуктами и естественными ресурсами. По многим таким товарам цена заметно нестабильна.

Встает вопрос: в какой мере колебания цены являются отражением деятельности руководства данной отрасли промышленности и в какой мере колебания вызваны возмущениями вне данной отрасли? Что касается большинства производств в таких отраслях, как текстильная — от волокна до сукна, металлургическая — от добычи руды до механической обработки, мясная промышленность — от фермы до столовой, то все, кажется, понимают, что колебания цен вызваны изменениями в уровне конечных розничных продаж, воздействие которых передается обратно в пункты снабжения. В противовес такому пониманию есть веские основания ожидать, что многие из данных неустойчивых явлений могут продолжаться даже при наличии постоянного и неизменного конечного спроса на товары. Организационные и политические взаимодействия внутри отрасли могут быть достаточно неустойчивыми, чтобы вызвать колебания системы в большей мере, чем из-за нарушений, создаваемых продолжительным потоком помех, и неопределенности, существующей во всех точках системы.

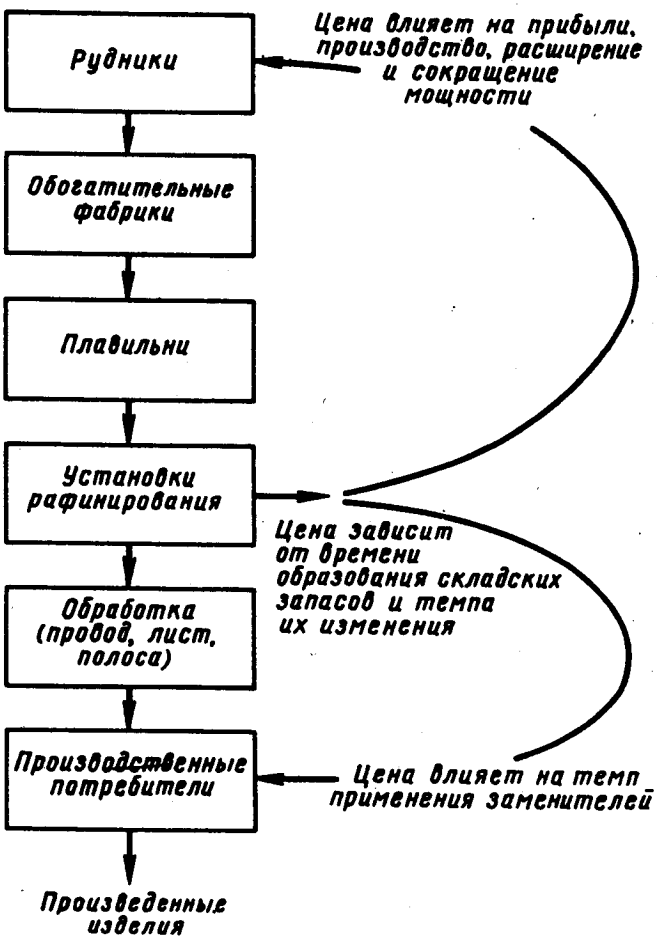
По мере нашего обратного движения в систему снабжения товарами характер структуры системы начинает отличаться от представленного в системе распределения в главе 13. В системе распределения фабричных изделий последние отправлялись в соответствии с заказами. Покупателю изделие доставлялось только по его требованию. Напряжение внутри системы больше проявлялось в количественных изменениях товарных потоков, чем в изменениях цен. При первом рассмотрении цены имеют тенденцию регулироваться так, чтобы отразить издержки производства плюс обычный процент прибыли данной отрасли. Конечно, величина процента поднимается и падает в зависимости от состояния запасов на базах и складах. Однако мы обычно наблюдаем, что завод регулирует выпуск продукции по рыночному спросу, внося такие изменения в объем производства, которые значительнее и быстрее, чем изменения цен.

В противоположность этому система обращения товаров стремится быть такой, в которой темпы снабжения могут регулироваться, но медленно. Товар не производится по особому заказу потребителя. Тот, кто покупает товар из первого источника запасов, стремится получить все необходимое ему количество. Производитель обычно не в состоянии накапливать товар в течение продолжительного времени и поставляет свою продукцию на рынок по мере ее изготовления. Цена колеблется быстрее, чем темпы снабжения. Регулирование темпов снабжения производится относительно медленнее, чем изменение цены. При падении цен некоторые производители считают, что прибыльно работать нет возможности, и поэтому они сокращают производство. Многие производители обычно приходят к выводу о том, что у них нет другого выбора, кроме продолжения производства в надежде на то, что цены поправят дело. Действительно, для сохранения прежнего размера дохода они могут попытаться дать больше продукции по сниженным ценам. Потери в течение длительного периода времени могут неизбежно усугубить неудачи предприятия и таким образом привести к уменьшению избытка продукции.

Поэтому мы ожидаем найти такое звено в системе движения товаров, в котором запасы имеют тенденцию к колебаниям в соответствии с разницей между темпом выполнения заказов, с одной стороны, и поступлением рыночных запросов — с другой.

В этом пункте уровень товарных запасов и темп изменения этого уровня — это два главных фактора, влияющих на изменение цены. Это изменение цены распространяется затем вниз через занятую выполнением заказов часть системы сбыта, достигая конечного выходного пункта, где в конце концов определяется спрос на данный товар. В то же время изменения цены распространяются вверх, чтобы в конце концов повлиять на исходный темп производства. И спрос и производство могут реагировать на изменение цен очень медленно. Сниженная

[1] Примером может служить новая цветная фотопленка. Здесь можно отметить крайне высокое качество, высокое техническое исполнение почти любого изделия, в котором уникальная характеристика получена благодаря столь высокому уровню разработки, производства и умения продавать, что конкуренты не смогут или не захотят следовать по тому же пути.



Р и с. 16-9. Стадии производства меди.

цена, например, приведет к сокращению производства и увеличению спроса без непременно присущих им тенденций к установлению уравновешенного баланса.

На любом или на всех уровнях этой системы спекуляция и накопление запасов, влияющих на цену и на ситуацию снабжения, могут только усилить нестабильность системы.

Интересное исследование международной медной промышленности предпринял Рэй Болмер [1]. Он построил динамическую модель из примерно 160 переменных, представляющих его понимание главных руководящих правил и организационных взаимоотношений на шести технологических стадиях медной промышленности, от рудников до конечной обработки. Эти шесть звеньев показаны на рис. 16-9: рудники, обогащение руды, плавильни, рафинирование, обработка (выпуск законченных металлических изделий, таких, как провод, лист, латунь и т. п.) и производство изделий с использованием меди. Рэй Болмер ввел два независимых звена разработки руды, считая, что исследование должно в конце концов расшириться и включить вопрос о том, какую часть всего снабжения медью надо подчинить контролю, чтобы стабилизировать огромные колебания цен на медь, если в действительности изменения в руководящих правилах добычи руды окажутся одним из тех пунктов, где можно влиять на стабилизацию системы.

Есть, по-видимому, основание ожидать, что при разумных руководящих правилах даже второстепенный фактор может оказать значительное стабилизующее влияние на неустойчивую систему. Стабилизация здесь означает уменьшение колебаний, а не искусственное воздействие на среднюю цену длительного периода. При этом встают некоторые интересные вопросы. Где в системе можно достигнуть стабилизации с наименьшим риском? Какая часть промышленной отрасли должна находиться под контролем, чтобы добиться стабилизации? Может ли эту задачу выполнить одна фирма, пусть даже не главная фирма данной отрасли, или стабилизация возможна только при объединении действий всех фирм, для чего вначале потребовалось бы изменение антитрестовских законов? Имеются серьезные основания считать, что можно найти способы, посредством которых односторонние действия единичной организации могут быть достаточными для оказания сильного воздействия на стабильность отрасли.

Анализ товарных систем выявляет внутренние, восстанавливающие, нестабилизированные силы, многие из которых подчиняются контролю руководства. Эффект от некоторых нестабилизирующих правил даже поддается обратному изменению. Изменения руководящих правил могли бы привести к стабилизации скорее, чем нестабилизирующие действия, и могли бы поэтому улучшить динамический характер промышленности в целом.

В работе Рэя Болмера, например, имеются две очень интересные характеристики исследованной системы. Одна из них — это тенденция

[1] См. диссертацию, которую под руководством автора данной работы написал Рэй Болмер, стипендиат Массачусетского технологического института от фирмы «Реннекот коппер корпорейшн», 1959—1960. (Ray W. Ballmer, Copper Market Fluctuations. An Industrial Dynamics Study, 1960, Section 19.3.)

к накоплению спекулятивных запасов на всех уровнях. Когда цены начинают повышаться, а в снабжении наблюдаются трудности, появляется тенденция накапливать избыточные запасы. В этом проявляется общеизвестное стремление к нарушению стабильности, которое приводит к дальнейшему повышению цен и к сокращению имеющихся ресурсов. Как мы уже видели в главах 14 и 15, складские запасы стремятся к увеличению, когда напряжение в системе усиливается. Это означает, что конечный неблагоприятный эффект значительно сильнее, чем можно было ожидать от небольшого количества запасов, фактически накопленных на складах. Интересен до сих пор еще не исследованный вопрос о такой системе, в которой часть отрасли на одном или на нескольких уровнях могла бы оказать противодействие всей отрасли в целом, применяя правила управления агрегированным запасом, при котором последний уменьшался бы в период увеличения активности и увеличивался в период затишья. Это не означало бы непременно больший размах колебания запасов, чем имеющий место в настоящее время, и привело бы, если это действительно возможно, к тому, что запасы стали бы доступными тогда, когда они больше всего необходимы.

Другим пунктом, где руководящие правила могут воздействовать на стабильность системы, является горнорудная промышленность. Есть некоторые основания полагать, что давление на администратора рудника может привести к действиям, которые в дальнейшем усиливают колебания системы, хотя это обстоятельство еще нуждается в дополнительном исследовании. Вопрос стоит следующим образом: как изменяется объем добычи руды при изменении цены в течение как короткого, так и продолжительного времени. При повышении цен в течение длительного периода, то есть на протяжении двух и более лет, добыча руды, несомненно, увеличится, так как будут пущены в ход дополнительные рудники. При повышении цен в течение короткого периода действуют факторы, которые сдерживают увеличение добычи и могут даже привести к ее уменьшению. Это может случиться в результате следующего сочетания причин:

— когда уровни добычи, обогащения и плавления стремятся к фиксированной величине;

— когда пригодность руды в рудниках меняется в зависимости от выхода меди на одну тонну добычи и на один машино-час, а от этого зависит, какая часть рудника разрабатывается;

— когда управляющий рудником пытается не извлекать максимума возможной прибыли в каждый данный момент, а под давлением необходимости удовлетворяется средней прибылью отрасли, ожидая, если это выполнимо, стабильных прибыльных операций и таких условий, при которых в конце концов можно будет использовать руды как высокого, так и низкого качества.

Так как при указанных обстоятельствах цены повышаются, становится возможным сохранение достигнутого уровня прибыли при добыче руд низкого качества, тем самым используются те источники сырья, которые невыгодно эксплуатировать при низких ценах. Если при этом оборудование работает с максимальной эффективностью по тоннажу, то это означает, что было добыто то же количество руды, но с меньшим выходом меди. Результатом повышения цен может, следовательно, быть сохранение того же уровня прибыли и снижение добычи рудника. Преобладает ли этот фактор или нет, любая тенденция в этом направлении, если она достигает значительного размера, может уменьшить стабильность данной отрасли.

Рэй Болмер нашел, что стабильность системы должна находиться под значительным влиянием обоих упомянутых факторов, но для окончательного решения еще не было проведено достаточно исследований и не было уделено внимание тому риску, который связан со всякой попыткой изменить руководящие правила. Этот риск был бы, без сомнения, под большим влиянием величины того сектора промышленности, в котором произведены изменения правил. Такого рода исследования могут дать интересные результаты, но прежде, чем разработать определенные предложения, необходимо исследовать много вопросов. По сравнению с важностью возможных результатов такие исследования не были бы ни чрезмерно растянутыми, ни слишком дорогими [1].

Другой перспективной областью для исследовательской работы является сельскохозяйственное производство. Но наиболее обещающими являются первичные исследования тех областей,

[1] Исследование, начатое Рэем Болмером, продолжил в 1960—1961 гг. Кеннет Д. Шлэйгер—стипендиат от отдела радиодеталей фирмы «Дженерал моторс». Он также сконструировал модель алюминиевой промышленности для сравнения с медной промышленностью и исследовал факторы, оказывающие влияние на цены и предложение.

в которых отдельные поставщики или потребители контролируют по крайней мере 10% рыночных сделок, а поощряемый правительством контроль не является в них фактором, подавляющим свободу рынка.

16. 4. Управление исследованиями и усовершенствованиями

Управление исследованиями и усовершенствованиями — новая сторона в деятельности фирмы, значение которой существенно возросло за последние два десятилетия. Ввиду новизны в управлении исследованиями значительно больше неопределенных факторов, чем в большинстве других сторон управленческой деятельности. Может показаться, что всякая попытка формального динамического анализа процесса управления исследованиями является безумной храбростью. Однако ввиду того, что нужда в этом анализе очень велика, такую попытку целесообразно предпринять, хотя анализ будет иметь определенную границу, и при его выполнении мы столкнемся со многими неуловимыми факторами. Первым результатом такой попытки должно явиться выяснение значения различных факторов и их отношений одного к другому. Благодаря такому исследованию сочетания различных обстоятельств, ведущие к успеху или неудаче, станут яснее.

А. Кац [1] сделал первую попытку создания модели управления военными исследованиями и усовершенствованиями. Эту работу продолжил Эдвард Робертс [2].

Исследование и усовершенствование обычно соединяются в нашем представлении с изобретением и нововведением, что всегда вызывает очень много споров. С одной стороны, мы доказываем, что изобретение не может быть предсказано, а с другой — мы признаем определенную правильную взаимосвязь в ожиданиях возможного успеха. Объем группы вопросов, которые мы намечаем для исследования, всегда является функцией нашей потребности в результате нашей оценки значения предпринимаемого исследования и той неопределенности, которую мы испытываем в начале работы. Другими словами, мы обычно действуем, исходя из предпосылки, что более значительное усилие либо сэкономит время, либо увеличит вероятность успеха.

Когда мы подходим к изображению процесса исследований и усовершенствований, мы сознательно думаем первым делом о типичном, а не о частном случае. В разделе 16.2 мы рассмотрели главные факторы роста производства. Мы останавливались на характеристиках, которые имеют значение в последовательности изучаемых событий. Таким же образом мы должны здесь остановиться на основных характеристиках процесса, которые не зависят от программы отдельного исследования и являются типичными во всех подобных случаях. Каковы же общие основные характеристики, которые определяют любую программу и отличаются друг от друга, лишь когда параметрам системы придаются соответствующие числовые значения? Как уже отмечалось при рассмотрении динамических моделей, деятельность в области исследований и усовершенствований будет состоять из нескольких взаимодействующих секторов. В зависимости от целей исследования это может быть:

— производство продукции, включая объем, сложность, новизну, требовательность к исполнению,— все в сравнении с существующими стандартами;

— потребитель, для которого производится исследование. Это может быть военная организация, с которой фирма заключает контракт, или — при других обстоятельствах — управление фирмы, для которой работу выполняет исследовательский отдел;

— характеристики исследовательской организации и ее управления;

— характеристики тех требований, которым должны удовлетворять результаты исследования.

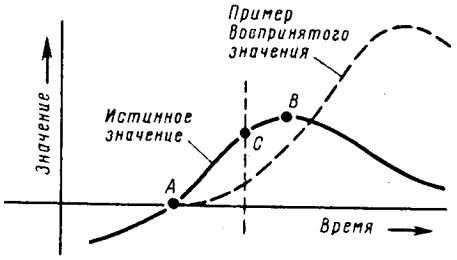
Последний пункт — существо требований, которые должны быть удовлетворены,— явно приводит к характеристике модели информационной системы с обратной связью, которая в главах 13 и 14 могла быть оставлена без внимания ввиду простоты приводимых там моделей. Чем измерить успех системы? Что именно в системе должно быть усовершенствовано? Каковы те критерии, посредством которых система саморегулируется, чтобы лучше отвечать поставленным целям? В обеих моделях 13-й и 14-й глав определялся поток товаров, требующийся для удовлетворения внешнего спроса.

---

[1] См. диссертацию, которую под руководством автора написал А. Кац, стипендиат Массачусетского технологического института от «Американ рэйдио корпорейшн» (Abraham Katz, An Operations Analysis of an Electronic Systems Firm, 1958, Section 19.4).

[2] В виде докторской диссертации и официального исследования по плану динамического моделирования промышленного предприятия Массачусетского технологического института.

В зависимости от этого спроса регулировались решения внутри системы. Какой спрос в данном случае соответствует программе исследований и усовершенствований? Чем должен быть измерен успех результата? Можно поставить и такой вопрос: каково значение результата исследования как функции времени? Рис. 16-10 показывает типичную форму соответствующей кривой. Любой определенный результат можно посчитать пригодным слишком рано. Ниже точки *A* потребность в продукте, или окружающие условия, необходимые для применения, еще не появлялись. Если бы в действительности



Р и с. 16-10. Истинное значение результатов программы исследования в зависимости от времени завершения программы.

они были ниже точки *A*, то накопление продукции, ее сохранение и вложенные средства представляли бы отрицательную величину. После этой точки значение результатов исследования поднимается до некоторой вершины, например, в точке *B*, затем потребность в результатах исследования падает или же продукт устаревает и заменяется новым, усовершенствованным. Эту кривую следует рассматривать как *истинное* значение продукта для общества. Это еще не то, за что потребитель намерен платить. Это и не то значение, которое *оценивается* потребителем или исследовательской группой. Все эти значения являются в системе различными переменными. Программа же предпринимается на фоне зависимости *истинного* значения исследования от времени его завершения и независимо от того, будет ли это истинное значение когда-либо известно или нет.

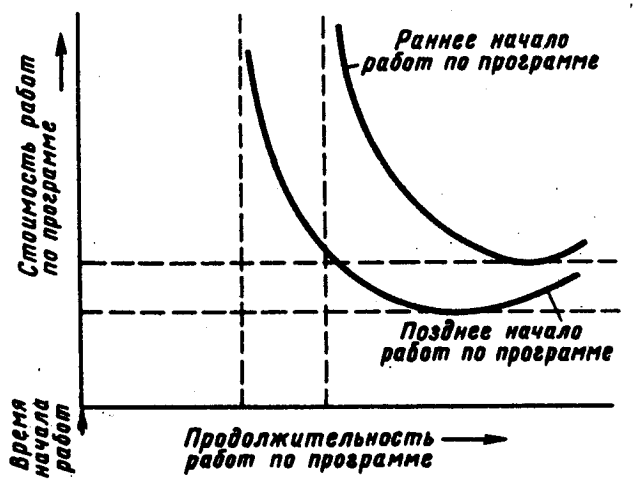
Характеристики исследовательской организации и потребителя, для которого производится исследование, будут влиять на составление этими организациями своих собственных *оценок* истинного значения программы исследования. Эти оценки будут со временем изменяться в зависимости от характеристик оценивающих организаций. На практике в оценках истинного значения кривой можно ошибиться в 10 или в 100 раз, смотря по обстоятельствам. На ранних стадиях исследования, когда оно еще не вышло за пределы точки *A* на рис. 16-10, организации действуют осторожно и недооценивают максимальное значение результатов исследования в точке *B*. С другой стороны, когда становится заметным быстрый подъем кривой, может часто возникать тенденция экстраполировать продолжающийся подъем кривой после точки *C*, приводя в будущем к значениям более высоким, чем в точке *B*[1]. Точность оценки будет зависеть от проявленного организацией предвидения, от того, насколько организация подвержена влиянию текущих кризисов или же она руководствуется здоровой оценкой будущего соотношения сил и факторов, действующих в настоящее время, и, наконец, от опытности руководства в данной области и его умения уравновешивать работу фантазии с трезвой оценкой. Концепция, подобная отображенной на рис. 16-10, становится независимым вкладом в динамическую модель процесса исследований и усовершенствований. Опознавание таких основных концепций вносит ясность в наше мышление. Хотя мы и не ожидаем таких же точных числовых значений, как на рис. 16-10, характер кривой обращает наше внимание на основной параметр, от которого мы находимся в зависимости. Луч, освещающий основные предпосылки, поведет, конечно, к лучшим оценкам, чем при замалчивании этих предпосылок и превращении их в неопределенный туман интуиции.

В других частях системы имеются важные внутренние параметры, характеризующие как саму задачу, так и участвующие в ее решении организации, окружающую технологическую среду и темпы ее изменения. Комбинации этих параметров определяют различные кривые стоимости этих программ при различных действиях руководства.

Например, те руководящие правила и организационные характеристики, которые определяют различные сроки начала работ по программе, приводят к результатам, показанным на рис. 16-11. Здесь показана полная стоимость работ по программе в зависимости от продолжительности выполнения работ, при различных календарных сроках их начала. По горизон-

[1] Сравните оценку в США значения космических летательных аппаратов до и после первого русского спутника, хотя основная технология этого полета развивалась непрерывно и регулярно в течение 25 лет.

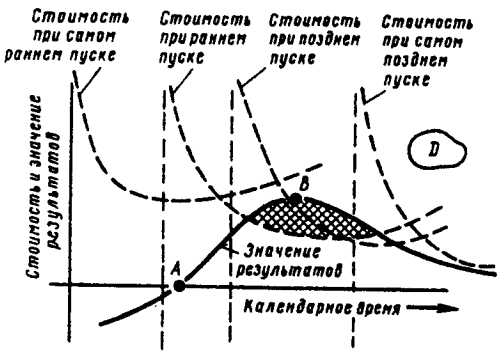
тальной шкале отложены интервалы времени, взятые после момента начала работ по программе. На рисунке приведены две кривые. Одна, соответствующая раннему началу работ, характеризуется более длинным минимальным промежутком времени, необходимым для завершения работ. Это происходит потому, что чем раньше начинается выполнение программы, тем длительнее будет период эмбрионального развития окружающей технологии. Минимально



Р и с. 16-11. Стоимость программы в зависимости от времени ее завершения при различных моментах начала работ.

возможная продолжительность завершения работ по программе увеличивается благодаря увеличению потребных усилий и неопределенности, характерных для более раннего начала работ. Кривые достигают минимального значения, а затем медленно поднимаются, так как, если программа растянута на слишком длинный период, общая стоимость работ повысится ввиду падения энтузиазма, смены персонала и потери инерции. В случае более позднего начала работ минимальное время, необходимое для их завершения, может быть меньше при меньшей общей стоимости работ, так как представляется возможным в большей мере заимствовать прогресс, достигнутый тем временем в независимых от программы областях. Следует иметь в виду, что кривые вычерчены для различных дат начала работ, поэтому на графике они должным образом не связаны между собой по календарному времени. Сопоставим эти кривые с кривой истинного значения результатов исследования.

На рис. 16-12 воспроизведена кривая действительного значения результатов исследования, показанная на рис. 16-10, и приведены четыре кривые стоимости при различных датах начала работ. Каждая кривая показывает последовательные моменты времени возможного завершения программы при одной и той же дате начала работ. По кривой самого раннего начала работ мы видим, что программа была непродуманной, не была принята во внимание продол-



Р и с. 16-12. Кривая значения результатов программы в зависимости от времени и 4 перестроенные кривые общей стоимости работ в зависимости от срока их завершения при различных датах начала работ для каждой кривой.

жительность периода для завершения программы [1]. Точка минимальной стоимости работ лежит достаточно высоко и появляется раньше того срока, когда результаты могут приобрести реальное значение. Результаты, полученные при таком раннем начале работ по программе, могут быть, кроме того, неполноценными по исполнению и достоверности. (Это, однако, уже другие переменные системы.) Мало крупных и солидных организаций рискнет допустить ошибку в программе, приняв слишком ранний срок начала работ. Такой случай с программой скорее может произойти с мечтателем или неудачником, который берется достичь крупной цели задолго до того, когда общество сумеет использовать и оценить результаты его усилий.

[1] Это, конечно, предполагает, что некоторые другие руководящие правила системы являются постоянными при различных намечаемых интервалах завершения работ (например, в области распределения рабочей силы на период действия программы).

Вторая кривая, относящаяся к раннему пуску, имеет реальную площадь, которая перекрывается кривой значения результатов исследования, как показано на заштрихованной части рисунка. Кроме того, мы видим, что максимум превышения кривой значения результатов исследования над кривой стоимости не очень чувствителен ни к горизонтальному положению кривой стоимости, ни к величине времени выполнения программы. Другими словами, неточность определения момента начала работ и даты их завершения в этом случае менее опасна, чем в случае, если бы мы переместились в район третьей кривой, соответствующей позднему моменту начала работ. Третья кривая, как показывает рисунок, имеет точку реального максимума кривой значения результатов исследования при более высокой стоимости работ, однако значение результатов исследования очень быстро убывает, если условия сдвигают кривую направо. Здесь риск позднего начала работ увеличивается. Четвертая кривая стоимости, не относящаяся к самому позднему пуску, имеет самый низкий минимум стоимости, но для этой кривой стоимость работ снова всегда выше значения результатов завершения программы.

Приведенные кривые стоимости не являются функциями ввода в модель по примеру кривой истинного значения, но по своей природе они принадлежат к тому виду результатов, которые должны быть получены после достаточного количества проигрываний модели. Их анализ позволяет выявить те группы факторов, которые лежат в основе процессов исследования и усовершенствования.

Важный фактор управления исследованиями и усовершенствованиями связан с тем, что они часто являются предметом финансирования по бюджету. В особенности это относится к крупным военным программам, где может потребоваться несколько лет для подготовки военных экспертиз, получения их одобрения, защиты и утверждения конгрессом и, наконец, для заключения соответствующих контрактов на выполнение работ.

В течение бюджетного периода, в пределах которого осуществляется финансирование работ, подрядчик и заказчик уделяют много внимания оценкам вероятного успеха. Компетентность, предвидение, смелость и честность оказывают большое влияние на реалистичность оценок. Недостаточная смелость и честность могут привести к тому, что первые бюджетные планы будут больше зависеть от размера отпускаемых средств, чем от важности поставленных задач. К тому времени, когда выявится весь объем задания и осложнения с его выполнением станут неминуемыми, может уже оказаться слишком поздно, чтобы перестроить работы и их финансирование с целью завершения их в срок, в соответствии с кривой истинного значения результатов исследования. Это, однако, не значит, что программе будет положен конец. Инерция включенных организаций, нежелание признать ошибку в суждениях, тенденциозность мышления и недостаточная ясность концепции истинного значения результатов исследования могут легко привести к действиям, основанным на допущении значения, показанного в рубрике *D* рис. 16-12. Так как затраты возрастают, а оцениваемая стоимость работ все больше и больше превышает истинное значение результатов работы, для общества увеличивается вероятность того, что произойдет крах в эмоционально созданной структуре значения результатов выполнения программы. Внутренняя система будет находиться под давлением и на нетвердом основании, превращаясь в легкую мишень для проникновения сомнений и критицизма со стороны тех аутсайдеров, которые стали недовольными.

Здесь мы видим решающее значение тех факторов, которые в модели динамической системы называют «неосязаемыми». Всякий, кто близко знаком с исследованиями и усовершенствованиями, признает решающее значение таких факторов, как смелость, воображение, предвидение, честность, надежда, оптимизм и горячая защита прежних решений. Место, занимаемое некоторыми организациями по любой из этих характеристик, обычно не оспаривается, если избранные организации охватывают широкий круг операций, встречающихся в действительности.

Некоторые организации обращают на себя внимание постоянством своих успехов в предпринимаемых ими делах. Это в значительной мере объясняется первоначальным выбором успешной программы, соединенным с предвидением при установлении достаточно раннего срока начала исследования, даже если это связано с риском затраты собственных средств прежде, чем значение предпринятого исследования будет признано финансовыми покровителями. Такие организации закрепляются в репутации успевающих, а это увеличивает их разборчивость в отношении исследований, которые *могут* быть успешными. Тогда приводится в движение регенеративный круг успеха,

порождающего успех. Наоборот, организация, предложение которой находится под влиянием избытка капиталов, а план работ в большей степени желателен, чем реалистичен, перегружает себя программами, критический пункт которых уже прошел. Работа здесь выполняется слишком поздно, если сопоставить ее стоимость со значением. Такие организации приобретают репутацию, которая способствует поручению им тех заданий, от которых успевающие организации отказываются. Отрицательный регенеративный круг в этом случае приводит к предложению таких заданий, по которым вероятность успеха еще ниже.

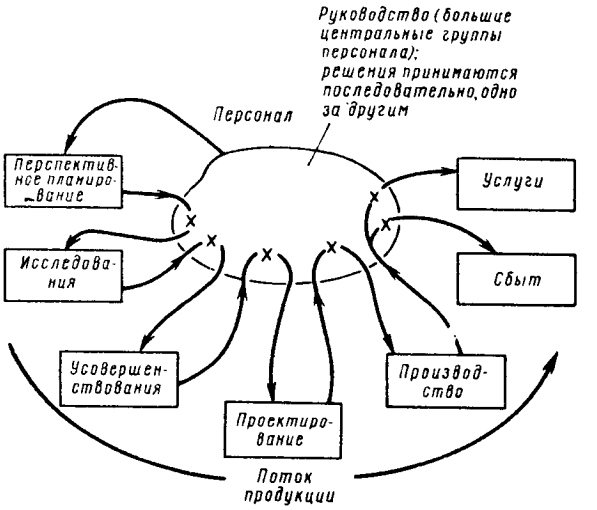
16. 5. Структура высшего руководства

Мы вполне правильно приписываем успех или неудачу промышленной организации качеству управления. Однако в начале создания динамической модели промышленной деятельности мы обычно исходим из более конкретных факторов. Сперва идут производство, распределение и складские запасы, вслед за ними — правила найма рабочей силы и затем — динамика рынка. После этого можно включить те факторы, которые приводят к усовершенствованию новой продукции.

Так как в динамической модели объединяются основные функции предприятия, мы все более приходим к необходимости завершить общую картину добавлением характеристик выработки решений на высших уровнях управления.

Структура высшего руководства имеет различные формы, различные положения и различное происхождение. Они отличаются друг от друга по смелости, консерватизму, гибкости, быстроте в выполнении решений и по целям, которые они преследуют. Эти особенности отражаются в различных динамических характеристиках процессов управления в разных фирмах. Подобно тому как оперативные функции взаимодействуют друг с другом при выработке характеристик важного динамического поведения, так и взаимодействия между структурой высшего руководства и оперативными отделами будут по-разному благоприятствовать росту и стабильности предприятия.

От разновидности рынков, темпа технологических изменений и других характеристик промышленного предприятия зависят желательные динамические характеристики структуры управления. Разные организационные формы, по-видимому, свойственны производству разного типа изделий. Линия руководства, которая в одной ситуации действует хорошо, в другой сбивается, потому что цикл жизни изделия бывает то длиннее, то короче, или необходимые нормы времени для усовершенствования изделия очень отличаются от времени, требующегося для пуска его в производство, или рынок к одним характеристикам более чувствителен, а к другим — менее.

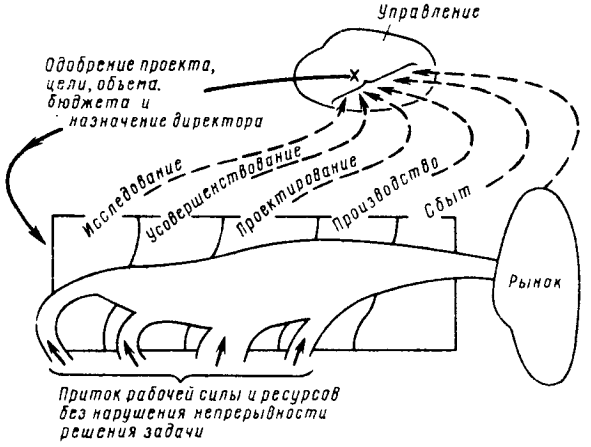


Р и с. 16-13. Организация с функциональными подразделениями, в которой последовательные решения о продвижении изделия выносятся руководством фирмы, обычно координационным комитетом.

Существование различных динамических характеристик структуры управления можно проиллюстрировать сравнением фирмы с функциональным подразделением, как на рис. 16-13, с фирмой, пользующейся организационной схемой, показанной на рис. 16-14. При функциональной организации координация различных стадий производства каждого изделия осуществляется высшим руководством, что часто ведет к созданию крупных центральных групп управления, участвующих в выработке практических решений и намечающих последовательность стадий в эволюции производственной идеи от исследования вплоть до реализации на рынке. Здесь делается упор на эффективность каждой отдельной функциональной специальности. Эта организационная форма имеет свои преимущества, если производственные условия изменяются очень медленно. Например, если изделие и его производственные процессы

относительно стабильны, то улучшение производительности может быть измерено ежегодными отклонениями в затратах на рабочую силу и использовании материалов [1].

С другой стороны, при функциональной организации складывается затруднительное положение, когда цикл жизни изделия сокращается. Когда это сокращение становится достаточно заметным, так что продолжительность выработки решений высшим руководством и темп ознакомления функционального отдела



Р и с. 16-14. Организация, в которой ресурсы выделяются для осуществления проекта, а координация решений производится внутри организации лишь в части общей цели.

с новой идеей и последующего воодушевления ею требуют ощутимого дробления цикла жизни изделия, тогда мы находим, что система функциональной выработки решений в соответствии с рис. 16-13 не выдерживает конкуренции с более мобильной системой, показанной на рис. 16-14.

При такой организации высшее руководство находится в динамических взаимоотношениях с активно действующей частью организаций, которые сильно отличаются от взаимодействий при функциональной организации. Вместо постоянного участия высшего руководства в текущих решениях по каждому отдельному изделию весь круг оперативных решений по этому изделию от исследования до рынка сбыта здесь находится в руках директора и подчиненного ему аппарата, разрабатывающего данное изделие. Этот аппарат никакой другой ответственности не несет. Директор проекта изделия — это не координатор работ, выполняемых независимыми функциональными отделами. Он располагает всеми средствами, прямо подчиненными ему, и эти средства не имеют никакого другого назначения.

В организации, схема которой показана на рис. 16-14, высшее руководство смотрит дальше; здесь контроль осуществляется путем первоначального одобрения целей проекта и его объема, утверждением бюджета и назначением лица, на которое возлагается ответственность за выполнение проекта. Высшее руководство осуществляет непрерывный контроль, рассматривая изменения в запланированном бюджете и объеме работ, наблюдая за продвижением производства и пассивно вмешиваясь путем выдачи разрешений директору проекта продолжать работу, если дела не требуют такого серьезного поворота, когда директор должен быть смещен или программа должна быть отложена. Прогресс работы и ее результаты постоянно находятся под наблюдением, но в первое время — как источник информации для одобрения других новых программ и выявления тех сотрудников, которые обнаруживают выдающееся умение руководить.

В такой организации изделие не испытывает отрицательного влияния перехода от одной функциональной группы к другой и ожидания, пока последняя ознакомится и воодушевится новой работой; эта организация легче справляется с переходом от одной стадии работы к другой. Чтобы работа ее была успешной, организация должна, конечно, иметь такое руководство, которое способно проявить необходимое умение по каждому виду функциональной деятельности.

Динамика длительной эволюции структуры управления интересна тем, что большинство небольших новых фирм начинает с организационной структуры, соответствующей отраженной на рис. 16-14. Когда эти фирмы разрастаются, они переходят к функциональному подразделению, отраженному на рис. 16-13, подгоняемые желанием получить выгоду от эффективности специализации по выполняемым функциям. Эта выгода может быть кратковременной (всего на период в несколько лет). Функциональная организация является плохой школой для той подготовки, какая необходима руководителю программы или члену высшего руководства, а обратный переход от организационной структуры,

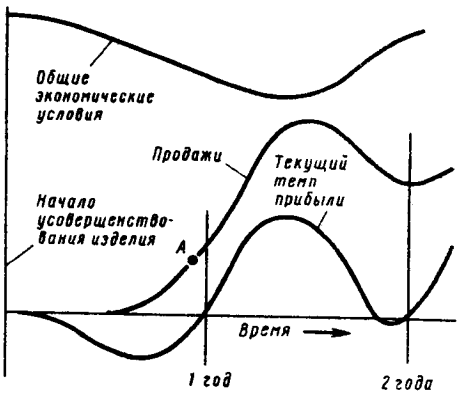
[1] К таким изделиям можно отнести пшеничные хлопья, слоновое мыло и черно-белые пленки для любителей фотографии.

отраженной на рис. 16-13, к структуре, представленной на рис. 16-14, становится все менее и менее возможным, так как организация прекращает подготовку того рода руководителей крупного масштаба, какие необходимы для понимания взаимодействия всех сторон деятельности предприятия [1].

В этом месте разработка динамической модели подходит к области управленческих решений, запаздывания их принятия, используемых источников информации, моральных факторов и измерению успехов руководителя и организации. Ранее рассмотренные промышленные модели содержали некоторые из этих факторов, осложняющих управление. В главах 14 и 15 управление было в наибольшей степени связано с запаздыванием выполнения заказов, со склонностью к изменениям численности рабочих и с желательным уровнем запасов. Но такие факторы руководства прямо не проявляются. Их можно специально выявить и объединить там, где они являются решающими для изучаемых проблем.

Интересный узел динамических взаимодействий возникает при изучении эффекта, связанного с распределением времени, затрачиваемого на управление. Наблюдаемые здесь явления лучше всего объяснить на примере ранних стадий развития нового изделия, хотя их можно наблюдать и у фирм, которые при кризисном и неправильном руководстве направляют усилия на те пункты, которые обнаруживают симптомы наиболее сильного неблагополучия.

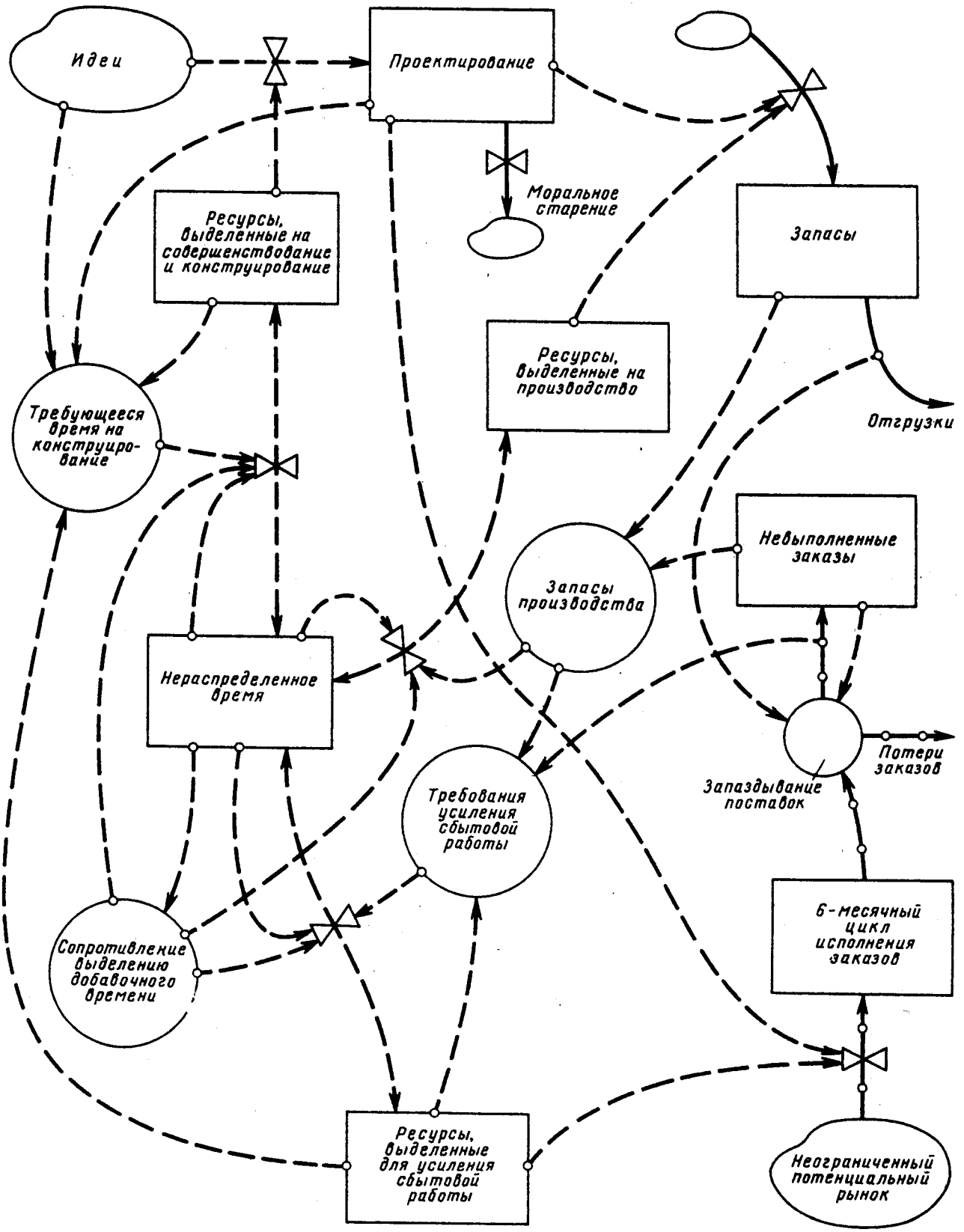
Основа такого особого динамического поведения выявляется после исследования возможных причин колебания продаж и прибыли, как это показано на рис. 16-15. После усовершенствования нового изделия оно вначале продавалось медленно; затем наступил период многообещающего подъема продаж, сопровождавшийся очень благоприятным повышением темпа получения прибыли. За подъемом последовало глубокое снижение прибыли, потом наступило улучшение. Кривая общих экономических условий показывает, что подъем произошел в период ухудшения этих условий и что они начали восстанавливаться раньше падения продаж и прибыли. Природа изделия, рынка и покупателей могла бы указать, что любой связанный с экономическими условиями эффект должен был быть противоположным. Причина колебания прибыли лежит, вероятно, где-то еще, помимо общей экономики. Снижение прибылей явно опережает сокращение продаж, поскольку постоянные расходы организации поднялись до такой точки, где сокращение продаж должно было вызвать типичное, подчеркнутое снижение прибылей.



Р и с. 16-15. Нестабильность темпа прибыли вследствие напряженного распределения управленческого внимания.

Анализ рыночных явлений мог бы привести к заключению, будто сокращение продаж было сезонным фактором, отражающим меньшую активность потенциальных покупателей в летнее время. Но исследователям было предложено проверить не только некоторые динамические аспекты рынка, но и способ, по которому организация должна была распределить время своего наиболее квалифицированного руководящего персонала. В результате они начали подозревать, что характер рынка и давление на руководство находились во взаимодействии, вызывая наблюдавшееся поведение. Была построена динамическая модель такой системы. Эта динамическая модель соединяет некоторые упрощенные характеристики усовершенствования изделий, роста рынка и распределения

[1] Мне кажется, что перемещение руководителей, как это практикуется в функциональных организациях, из одного отдела в другой не дает той широкой подготовки, какую получает руководитель проекта. Перемещение по отделам не дает опыта в несении полной личной ответственности за свое решение. Человек вступает в отдел, который уже действует, и получает работников и частично выполненные изделия, подготовку которых он не контролировал. Результаты его решений будут переданы кому-то другому и вовсе не рассчитаны на то, что руководителю придется самому иметь дело с недостатками своих решений. Такая обстановка приводит к сосредоточению внимания на кратковременной целесообразности и порождает безответственность в долгосрочных делах.


Идеи
Проектирование
Моральное старение
Ресурсы, выделенные на совершенствование и конструирование
Запасы
Ресурсы, выделенные на производство
Требующееся время на конструирование
Отгрузки
Невыполненные заказы
Запасы производства
Нераспределенное время
Потери заказов
Запаздывание поставок
Требования усиления сбытовой работы
6-месячный цикл исполнения заказов
Сопротивление выделению добавочного времени
Ресурсы, выделенные для усиления сбытовой работы
Неограниченный потенциальный рынок

ресурсов руководства. Отображенная в модели система оказалась в высокой степени нелинейной.

Рис. 16-16 показывает главные изучаемые взаимоотношения. В этом случае, как это часто бывает в новых фирмах, первоначальные условия состоят из суммы идей и наличия двух человек, планирующих создать новую фирму. В этих начальных условиях самым первым делом является оформление имеющихся идей в производственных чертежах и спецификациях по какому-нибудь ходкому изделию. Когда чертежи выполнены, основные усилия перемещаются из области усовершенствования изделия к оборудованию и процессам производства. Если конструкция изделия привлекательна для рынка и небольшое усилие в области продаж создает резерв невыполненных заказов, внимание руководства концентрируется в еще большей степени на вопросах производства. Когда процесс производства налажен, а портфель заказов исчерпывается и начинают возрастать складские запасы, то внимание руководства переключается на продажи с тем, чтобы обеспечить приток заказов на имеющуюся продукцию.

В этой ситуации усилия, направленные на увеличение продаж на первой стадии существования фирмы, кажутся малоэффективными, поскольку заказы и так поступают и кривая продаж поднимается. На рис. 16-15 операции дошли примерно до точки *A*. Заказы продолжали подниматься. Производству, которое было быстро налажено, руководство в течение кризисного периода продаж уделило меньше внимания. Ввиду недостаточного внимания со стороны квалифицированного руководства производство в то время страдало от брака и низкого объема продукции. Превышение спроса над выпуском продукции опять направило преимущественное внимание руководства в сторону производства. В это время фирма продолжала получать заказы, которые накопились в течение шестимесячного периода, связанного с их оформлением у заказчика (объяснения даны ниже). Когда производство было приведено в соответствие с повышением числа заказов, последние начали сокращаться, так как теперь стал очевидным замедленный эффект усилий, направленных на увеличение продаж, а накопленные предварительные заявки потребителей были исчерпаны. Продажи продолжали снижаться и после того, как внимание руководства было опять направлено на реализацию, пока перерыв в притоке потребительских заказов не кончился. В этом пункте начался новый подъем заказов.

При такой ситуации рынок, по-видимому, имеет несколько важных характеристик:

— с точки зрения практических целей объем рынка был неограниченным по сравнению с объемом фирмы и ее потенциальными производственными возможностями;

— изделие относилось к капитальному оборудованию, стоимость индивидуального заказа которого могла бы составить несколько тысяч или десятков тысяч долларов. Такое оборудование по традиции производится по заказу. Технически квалифицированное умение продавать в сочетании с эффективной рекламой, образцовое качество оборудования и демонстрация его были достаточны, чтобы приступить к рассмотрению потребительского заказа;

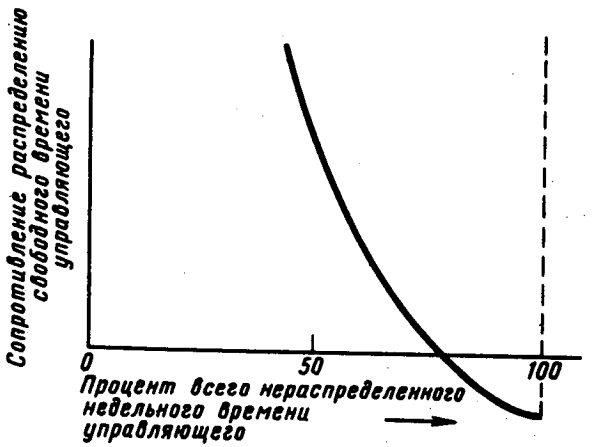
— так как продукция являлась капитальным оборудованием, для размещения заказа требовалось одобрение со стороны руководителей различных уровней организации потребителя; при некоторых обстоятельствах, если изделие предназначалось для военных целей, требовалось одобрение военного чиновника. Эти одобрения, ответы на вопросы, демонстрация различным высокопоставленным лицам оборудования в действии, а также подготовка потребителем спецификаций и заказа требуют в среднем около 6 месяцев. Заказы бывают готовы к размещению много позднее, после первых демонстраций и продаж;

— в этой области так много конкурентов, что заказы, уже готовые к размещению, могут быть потеряны, если фирма выполняет свои поставки слишком медленно. Состояние задолженности по заказам и темп отгрузки указывают на запаздывания поставок; на модели они управляют разрывом между размещенными и потерянными заказами.

Распределение времени руководства, как видно на рис. 16-16, в этой модели определяется потребностями подразделений системы и очередностью их удовлетворения. Разная напряженность в различных участках системы приводит к перераспределению времени между этими участками. На рис. 16-17 показано сопротивление дополнительному распределению более значительной части нераспределенного времени как функция процента всего нераспределенного времени. За 100% принята календарная продолжительность недели — 168 часов. Сопротивление распределению свободного времени почти нейтрализуется при рабочей неделе в 35—40 часов. При увеличенном количестве нераспределенного времени коэффициент полу-

чается отрицательный, указывая на действительное желание быть более активным. Когда нераспределенное время снижается, сопротивление распределению оставшегося свободным времени постепенно повышается, так как приближается предел человеческой выносливости.

Совершенно другие формы кривых возникнут при показе «напряженности» распределения времени по областям работы. Эти различные напряженности будут зависеть от потребности в соответствующих областях. Например, средний уровень заказов, превышающий уровень



Р и с. 16-17. Сопротивление распределению времени в зависимости от процента нераспределенного времени.

производства при снижении складских запасов, создал бы напряженность в размещении свободного времени в области производства. Напряженность в размещении времени в области продаж повысилась бы, если бы уровень заказов упал, резерв невыполненных заказов сократился, а складские запасы стали бы завышенными. Кроме того, относительный приоритет отдельных подразделений системы зависит от различных руководящих правил. Недальновидная организация, если в области производства у нее имеется напряженность, склонна к низкому коэффициенту приоритета этой области, когда она переходит к планам на будущее. Таким же образом затруднение в области продаж склонно предшествовать любому из двух других факторов. Как и следовало ожидать, поведение системы в высокой степени зависит от коэффициентов приоритета, функций распределения и временных констант, при которых распределение времени изменяется. Модель становится основой для изучения результатов различного поведения руководства в различных ситуациях производства и рынка.

16. 6. Денежные средства и бухгалтерский учет

Если принять во внимание то центральное положение, которое в большинстве случаев занимают бухгалтерская информация и поток денежных средств при выполнении анализа хозяйственной деятельности, то читатель почувствует, что в этой книге финансовым переменным уделяется мало внимания. На первый взгляд денежные средства составляют ту сеть, которая связывает различные части предприятия воедино. В нашей книге координирование производится посредством сети потоков информации. Более того, преобладающая часть информации представляется в нефинансовой форме. Я считаю такой подход оправданным, хотя движением денег и формированием бухгалтерской информации нельзя пренебрегать при конструировании более совершенных моделей. Рассмотрение потоков денежных средств и отчетных данных было начато в 14-й главе, в которой финансовая информация не является неотъемлемой частью функций выработки решений в модели. Она скорее выступает в роли информатора, показывающего исследователю, как себя ведет система.

Бесспорно, что бухгалтерская информация очень высоко ценится как источник сведений, необходимых для текущих оперативных решений. Но верно ли это? Значит ли это, что и отчет о прибылях и убытках и балансовая ведомость за предыдущий месяц полезны 5-го или 25-го числа, так как оба отражают результаты решений, принятых полгода, год или 5 лет назад? Значит ли что-нибудь 3-недельное запаздывание, прибавленное к году или к более длительному сроку?

Там, где бухгалтерская информация действительно используется при выработке управляющих решений, она должна быть представлена в самой модели. Специфические особенности этой информации могут придать важное значение динамическим характеристикам предприятия. Если информация, которая так намного запоздала после первых решений, послуживших основанием для ее возникновения, оказывает большое влияние на руководящие решения, то эти запаздывания и вызываемые ими усиления имеют серьезное значение для стабильности системы.

Когда предприятие попадает в такое тяжелое положение, что его деятельность оказывается под угрозой ввиду малой наличности в кассе и невозможности получения кредита, тогда финансовые вводы могут стать главными факторами, управляющими оперативными решениями.

За исключением этих крайних ситуаций, бухгалтерская информация не привлекается непосредственно к оперативным решениям в такой степени, как, например, темп продаж, который является одним из главных факторов при решении о выдаче заказов на товары. В то же время отчет о прибылях и убытках может оказать важное влияние на общий тон оптимизма и тщательность выработки решений. Когда текущая прибыльность растет, появляется склонность к смягчению требовательного и строгого рассмотрения новых расходов. Легковесные аргументы оказываются достаточными для найма на службу дополнительного персонала, что приведет к росту постоянных организационных расходов, которые в дальнейшем вызовут финансовые затруднения. С другой стороны, неблагоприятные показатели бухгалтерской отчетности могут привести к серьезным запаздываниям или даже к полному прекращению таких расходов, которые сами являются ключом к финансовому оздоровлению. Таким же образом мы можем ожидать, что психологическое воздействие финансовой информации может оказать влияние на решения так же, как и на усиление других трудностей, которым подвержена организация.

Схематическая основа первичных влияний внутри организации часто может быть представлена без финансовой и бухгалтерской информации. С другой стороны, по мере того как модели становятся все более утонченными и начинают заниматься все более важными аспектами принятия решений высшим руководством, система отчетности становится существенной частью внутренней сети информации, влияющей на отношения в организации и принимаемые решения.

Мы однако не должны упустить из виду, что финансовая информация — это только небольшая часть всей информации внутри организации. Обыкновенно она сообщает о симптомах, а не о причинах. Использование ее связано с определенным риском, потому что легче строить выводы, чем создавать другие, более важные виды информации. У нас живет тенденция собирать легко доступную информацию независимо от того, является ли она наиболее квалифицированной и эффективной.

16. 7. Конкуренция

Руководители предприятия, кажется, уделяют внимание главным образом конкурентным аспектам производства и рынка. Но многие проблемы, с которыми встречаются предприятия, характерны для всей промышленной отрасли. Фирмы довольно похожи друг на друга, и фáкторы, объединяющие их поведение, имеют большую силу, так что подъемы и падения в судьбах всей промышленной отрасли обычно отражаются на благополучии каждой входящей в нее фирмы. Объединение фирм внутри отрасли служит для того, чтобы заставить каждую из них согласованно действовать в данных условиях. Если одна фирма имеет лучшие возможности поставок, чем другая, то в периоды напряженности производства она может передать часть поставок другой фирме. Профессиональный союз требует перехода к одинаковым расценкам. Повышение спроса будет стимулировать расширение производственных возможностей по всей отрасли.

Если существуют такие характеристики, изменение которых может оказать влияние на все промышленные фирмы, тогда представляется целесообразным начинать с изучения динамических характеристик отрасли в целом, как это и было сделано в главе 14. Предположим, что по непосредственным интересам одна фирма похожа на другую, а проблемы всей отрасли те же, что и проблемы отдельной фирмы. После выяснения динамической характеристики отрасли можно приступить к изучению различий между фирмами. Если бы для отрасли в целом было бы целесообразно принять другие руководящие правила, то возник бы вопрос: что произойдет, когда одна фирма односторонне примет эти новые правила? Можно ожидать, что при определенных обстоятельствах одностороннее принятие новых правил будет осуществимо, в то время как при других обстоятельствах оно будет связано с большим риском. После того как сущность промышленной отрасли хорошо понята, становится важным изучение различий в руководящих правилах отдельных фирм.

С помощью рабочих правил фирмы можно контролировать не только долю ее непосредственного участия на рынке, но и ту часть рынка, которую она обслуживает поставками. Мы привыкли думать о дифференциации рынка на основе цены изделий, их качества и других физических характеристик. Но есть и другое измерение возможной дифференциации, а именно: динамические характеристики рынка. В некоторых

отраслях промышленности мы находим одну фирму, чьи руководящие правила привлекают колеблющуюся часть рыночного спроса, тогда как правила другой фирмы способствуют устойчивому и постоянному спросу. Фирма, которая следует правилу осуществлять каждую возможную продажу и имеет достаточно товаров, чтобы вручить их покупателю даже в период максимального спроса, может считать, что максимум спроса, как и ее доля на рынке, остаются неизвестными. Это будет в особенности верно, если изделие фирмы в представлении потребителя хуже изделия конкурента. С другой стороны, противоположные правила фирмы могли бы привести к привилегированному положению в части эффективности конструкции, качества и продаж с таким расчетом, чтобы вся продукция была пригодна к продаже даже в периоды снижения спроса на рынке. Эта фирма могла бы отказаться от возможности более высоких продаж в периоды повышенного спроса в интересах повышения продолжительности операций и недопущения снижения качества и репутации изделия. В этих условиях для первой фирмы будут характерны большие колебания, чем для отрасли в целом.

Приведенные соображения показывают, что различия в правилах, которые ведут к дифференциации фирм на основе их динамических характеристик, являются весьма важными факторами при создании моделей, отображающих конкуренцию.

16. 8. Учет будущего при принятии решений

Предвидение и долгосрочное планирование вытекают из заботы руководителя о будущем эффекте принимаемых им решений. Предвидение обычно заключает в себе поиск помощи, чтобы выработать решения на ближайшее будущее; оно часто основывается на статистическом анализе данных прошлого при исследовании тенденций и сезонности поведения системы. Долгосрочное планирование включает в себя период, предшествующий предусматриваемому, и больше покоится на интерпретации руководителем того, как существующие в настоящее время факторы будут взаимодействовать при формировании будущего. Истолкованные таким образом предвидение и долгосрочное планирование совершенно по-разному относятся к построению динамической модели.

Предвидение. Предвидение в области коммерции, и в особенности практики продаж, обычно сильно зависит от анализа предшествующих данных, если в тенденциях пытаются обнаружить типичные примеры роста, колебаний и изменений. Результаты используются для предсказаний будущего, которые должны служить основой оперативных решений.

Процесс предвидения используется при составлении уравнений принятия решений, рассмотренных в предыдущих главах. Эти уравнения используют доступные источники информации и комбинируют их так, чтобы получить решения и действия для настоящего. Возможная сложность процесса не меняет его основного характера. Если используется предвидение, то мы, разумеется, должны представить его в функциях решений модели. Это особенно верно, если мы считаем, что предвидение воздействует на промышленную систему — в сторону улучшения или ухудшения.

О процессе предвидения рассказывается слишком много легенд. Высокие оценки результатов предвидения часто не соответствуют действительности. Если бы в этих оценках было больше точности, то роль предвидения была бы более значительной. Почти при всех статистических и математических толкованиях роли предвидения безоговорочно считают, что последовательность предсказанных событий не зависит от действий, основанных на предвидении. Поведение систем, которые моделировались в главах 13 и 14, свидетельствует о том, как легко действия фирмы могут оказать влияние на поведение рынка. Если предшествовавшие типичные образцы изменений продаж являются основой для предвидения и если предвидение ведет к действиям, которые могут повлиять на будущие продажи, то мы имеем замкнутый круг информации с обратной связью. Допущение, что последовательность вводов в систему не зависит от действий, основанных на анализе этой последовательности, более не действительно. Методика предвидения становится частью системы, в которой она применена. В этом случае методика предвидения получает возможность создавать усиления и изменять реакции системы с течением времени. При этом конечные результаты могут быть очень далеки от тех, которые первоначально ожидались. Действительно, вполне разумно полагать, что методы предвидения часто будут одним из факторов, создающих нестабильность системы, и что они могут усугубить именно те проблемы, какие предполагалось облегчить.

Надо заметить, что любой процесс выработки решений, несомненно, содержит некоторую долю предвидения. Очень часто, признают это или нет, психологические факторы включают эк-

страполяцию прежних хозяйственных изменений. Даже при полном, по-видимости, игнорировании предвидения, как в решении о закупках в уравнении 13-9, подразумевается некоторое простое отношение, подобное тому, что будущее является продолжением настоящего. Главные явления в системе могут зависеть даже от того, будем ли мы предполагать сохранение в будущем имеющегося уровня активности или существующего темпа изменения уровня активности.

Оказалось, что большинство попыток предвидения сильно зависит от экстраполяции на будущее хода событий весьма близкого прошлого. В предвидении участвует много других факторов, но они обычно не являются настолько влиятельными, чтобы можно было отвергнуть экстраполяцию как главный компонент предвидения. Влияние экстраполяции при предвидении можно проиллюстрировать уже рассмотренными ранее примерами: отделы реализации продукции в случае роста заказов побуждают отделы производства подготовиться к возможностям будущего спроса; при увеличении запаздывания поставок в предвидении нарастающих трудностей ускоряется выдача заказов; при падении цен заказы часто аннулируются в надежде на еще большее снижение цен в будущем.

Предвидение может повлиять не только на последовательность событий, но и на сам процесс предвидения в будущем. Если предвидение слишком оптимистично, то оно ведет к определенным кризисам производства и складских запасов, которые в следующем году приведут к большей осторожности. Этот консерватизм может сделать будущее предвидение неоправданно пессимистическим.

Аналитические методы, которые строятся на примерах поведения сезонного характера, также связаны с риском ошибок. Последовательность сезонных событий может быть введена в закрытую систему информации с обратной связью, в которой она может привести к действиям, по-видимому, предвосхищающим эту сезонность; но в таком случае обратная информация в систему рынка приведет к усилению и выделению видимой сезонности.

Итак, методы предвидения на основе данных прошлого и настоящего будут хорошими или плохими в зависимости от взаимодействия с остальной частью фирмы. В целом я склонен считать, что нынешние попытки промышленного предвидения приносят больше вреда, чем пользы, но, так или иначе, на систему они оказывают большое влияние и должны быть включены в реалистическую модель промышленной деятельности.

Долгосрочное планирование. В планировании будущего возможен и другой способ использования моделей, который принципиально отличается от анализа статистических данных прошлого времени. Этот способ, называемый нами долгосрочным планированием, призван выявить наиболее важные взаимозависимости, которые воздействуют на будущий ход событий. В широком смысле все модели, рассмотренные в этой книге, относятся к категории долгосрочного планирования. Эти модели базируются на тех основных факторах, которые считаются важными, и, исходя из этих факторов, развивается понимание системы в целом, а также зависимости ее будущего общего поведения от основных предпосылок и правил управления. Такая модель применяется, когда хотят представить, как на систему воздействуют изменения в ее организационной форме или правилах.

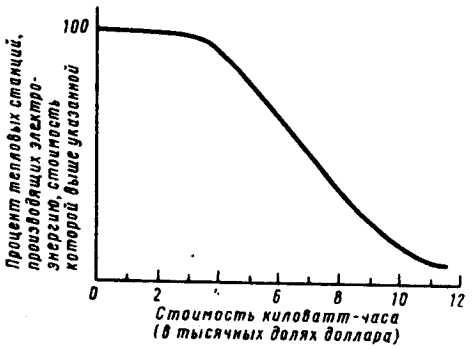
Модель, помогающая планированию, будет воспроизводить такие явления будущего, каких не было в прошлом. Планирующая модель показывает, как факторы настоящего, о которых мы имеем убедительную информацию, могут комбинироваться при формировании будущего. Из опыта мы знаем, как будут развиваться различные типы факторов. Мысленно представляя себе развитие в какой-либо области, мы вырабатываем нашу оценку будущего потенциала и возможного темпа его роста. Формальная математическая модель, созданная в целях планирования, действует для проверки наших оценок и для уточнения предпосылок, на которых построен план будущего. Она, подобно другим рассмотренным в этой книге динамическим моделям, поможет внести ясность в наше мышление, будет часто вскрывать несообразности в наших основных предпосылках и показывать неожиданную степень чувствительности системы к различным факторам. Некоторые предпосылки станут менее важными, чем это предполагалось вначале, тогда как другие, с виду маловажные, окажутся весьма значительными по их воздействию на результаты. Так мы становимся более бдительными и предупрежденными о последних критических предпосылках.

Интересную формулировку такой планирующей модели дал Уолтер Харфорд [1]. Он построил

[1] См. диссертацию, которую под руководством автора написал У. Харфорд, стипендиат Массачусетского технологического института от корпорации «Вестингауз элект-

динамическую модель, в которой установлена взаимосвязь 140 переменных, воздействующих на переход электроэнергетики от тепловых станций к атомным. Его модель, в частности, занимается вопросами атомного топлива как в первичных, так и в регенерирующих установках.

Эта модель главным образом служит изучению одного из процессов, включенных в программу перехода целой промышленной отрасли к новому типу технологии, связанному с заменой дешевого топлива более дорогим. Против последнего выдвигаются те факторы, которые



Р и с. 16-18. Мощность тепловых станций по сравнению со стоимостью электроэнергии.

в дальнейшем будут содействовать снижению стоимости производства ядерной энергии. К ним относятся: темп, с которым технические знания будут накапливаться как функция от числа построенных заводов; стоимость атомных станций, которая будет снижаться вместе с ростом производственного опыта; запаздывание проектирования в зависимости от опыта проектирования и производства; наконец, темп, в котором будет развиваться доверие потребителей в зависимости от числа уже установленных и успешно работающих станций.

На рис. 16-18 показана зависимость числа предприятий, которые могут пользоваться электроэнергией различной стоимости, от величины этой стоимости. Новая технология в большой степени зависит от формы кривой в правой части рисунка. Первоначально дорогостоящая новая технология может быть экономически доступной только небольшому числу потребителей. Тогда встает вопрос о том, будут ли на этих первых установках накоплены необходимые технические знания, чтобы стоимость энергии достаточно быстро снизилась и открыла возможность большего проникновения на рынок нового вида энергии. Случайная взаимосвязь между формой правой части этой кривой и факторами технологического процесса может вести к быстрому развитию данной промышленной отрасли. С другой стороны, отсутствие достаточного числа потребителей может поставить рост промышленности в зависимость от совершенно различных факторов, например от наличия предприятий, которые согласны нести расходы, связанные с длительными испытаниями новой технологии или с целью недопущения государственного вмешательства в производство электроэнергии.

Факторы, которые изучил Уолтер Харфорд, дают представление об условиях, необходимых для подъема этой отрасли промышленности, и указывают на те обстоятельства, при которых она может выжидать, пока технологический прогресс (в данном случае — военных и военно-морских усовершенствований) не создаст необходимые первоначальные условия.

16. 9. Модели промышленных отраслей

Отдельные фирмы одной и той же отрасли промышленности очень часто похожи друг на друга. Важными показателями являются те, которые относятся к отрасли в целом, а не те, которые уникальны и характерны только для одной фирмы. Некоторые отрасли характеризуются заметными различиями между фирмами, но это чаще бывает на ранних стадиях развития отраслей. В более старых и зрелых отраслях мы часто находим сходство фирм, довольно высокий уровень конкуренции и нередко — заметную степень нестабильности. Примером таких отраслей является текстильная, автомобильная, медная промышленность, строительство танкеров, производство электрогенераторного оборудования.

При динамическом моделировании придается особое значение общей картине факторов, определяющих успех промышленности. Первым шагом в изучении динамического поведения является предварительное исследование обширных аспектов отрасли в ее самых широких границах, содержащих значительное число взаимодействий. Результаты этого общего изучения определяют те рамки, внутри которых могут

рик», 1959—1960 (Walter J. Hurford, Application of Industrial Dynamics to the Growth of the Fuel Manufacturing Industry for Nuclear Thermal Electric Power Plants, 1960, Section 19.8).

быть выполнены более узкие и более специальные исследования. Начинать исследование иначе, по нашему мнению, было бы ошибочным. Если не было соответствующей подготовки, то нет и базы для точной формулировки деталей в небольшой части проблемы. От самой изучаемой проблемы зависит, как широки должны быть ее внешние границы. Предметом обсуждения в настоящем разделе будет решение вопроса о том, какие факторы должны быть рассмотрены. База для установления границ была нами разобрана в связи с моделью в главе 14.

В тех отраслях, где характеристики отрасли более четкие, чем характеристики фирмы, особенно важно начинать с определения динамических рамок отрасли в целом. Примером, как указывалось в разделе 16.3, служит медная промышленность.

В настоящем разделе будут вкратце упомянуты две другие отрасли, где наше понимание отрасли в целом должно быть установлено прежде, чем можно будет начать исследование вопросов изменения практики какой-либо фирмы данной отрасли. Мы имеем в виду строительство танкеров и производство электрогенераторного оборудования. По каждой из этих отраслей была изучена предварительная динамическая модель.

В основном строительство танкеров и производство электрогенераторного оборудования имеют много общего. Их продукция предназначена для продолжительных услуг, измеряемых в одном случае тонно-километрами в год, а в другом — киловатт-часами в год. Стоимость оказываемых обеими отраслями услуг входит небольшой частью в стоимость продукции тех отраслей, где они используются. Они заметно различаются по стабильности цен оказываемых ими конечных услуг — цена электроэнергии очень стабильна, а фрахты танкерных перевозок сильно колеблются. Тем не менее они похожи с точки зрения широких циклических колебаний заказов как на новые танкеры, так и на электрогенераторное оборудование. В обоих случаях нестабильность, кажется, явно проистекает из взаимодействующих характеристик отдельных составляющих этих отраслей, а не из каких-либо факторов, налагаемых конечными требованиями общества к этим производствам.

Строительство танкеров. Два недавних исследования касаются динамической природы фрахтов нефтеналивного флота и колебаний судостроения. В одном исследовании — его выполнил Занетос — рассматриваются экономические факторы и рыночные виды на будущее фрахтов на нефтеперевозки [1]. Оно развертывает широкую картину отрасли, выводит многочисленные оценки описательных параметров и истолковывает поведение данной отрасли с точки зрения традиционных статических и динамических экономических моделей.

Координированную динамическую модель танкеростроительной отрасли по методике, излагаемой в этой книге, построил Рафф [2]. Он применил 230 переменных, чтобы установить взаимосвязь по четырем родам деятельности нефтяной компании (отдел поставок, отдел фрахтов, отдел координирования и оперативный отдел) и 3 отделам внешних операций (посредники танкерных перевозок, независимые владельцы и верфи) [3].

Электрогенераторное оборудование. На первый взгляд заказы и производство электрогенераторного оборудования представляют собой поразительную аномалию. Потребление электроэнергии в Соединенных Штатах в высокой мере выравнено и стабильно. В то же время размещение заказов на электрогенераторное оборудование и производство этого оборудования — одна из наиболее нестабильных отраслей. Темп заказов на новые генераторы изменяется в отношении 10 : 1 при типичном интервале между максимумами заказов в 5 или 6 лет. Темпы производства могут изменяться в соотношении 4 : 1. Эти колебания существовали в течение нескольких десятилетий.

Такая высокая степень колебаний промышленной деятельности увеличивает стоимость продукции. Заводская мощность в среднем далека от полного использования. Ставки заработной платы должны быть достаточно высокими, чтобы компенсировать, хотя бы частично, время безработицы. Дополнительные расходы влечет за собой частая смена продукции, а также набор и подготовка работников [4]. Эти дополни-

---

[1] См.: Zenon S. Zannetos, The Theory of Oil Tankship Rates. Department of Economics and Social Science, Massachusetts Institute of Technology, September 1959, Section 19.9.

[2] См. диссертацию, которую под руководством автора данной книги написал Альфред Рафф, аспирант Массачусетского технологического института по отделу кораблестроения и судовой техники, 1960 (Alfred I. Raff, Dynamics of the Tankship Industry, Section 19.9).

[3] Это исследование было доведено только до стадии создания работоспособной динамической модели, поведение которой в общем правильно, а не до стадии, включающей проверку полученных результатов анализа.

[4] По неофициальным сведениям, полученным мной от отдельных фирм, стоимость оборудования увеличивается из-за колебаний промышленной деятельности примерно на 20%.

тельные расходы должны отразиться на цене оборудования и в конечном счете на стоимости электричества.

Динамические исследования такой отрасли показывают, как совокупность взаимодействий общепринятых факторов может привести к продолжительной нестабильности [1].

Для такого рода отрасли характерно, что каждый ее участник порицает нежелательные явления в практике другого. Так, например, фирмы, производящие оборудование, понимают, что тревогу внушает главным образом тот способ, каким фирмы-производители разных видов электроэнергии размещают заказы на оборудование. Тем не менее при такой ситуации можно допустить, что отдельные причины неудовлетворительных симптомов кроются в разных звеньях. В данном случае нестабильность отрасли определяется, очевидно, взаимодействием большинства из следующих факторов:

— возможности фирм, использующих оборудование, отсрочить спрос на него;

— переменные предварительные заказы на оборудование, изменяющиеся в соответствии с установленным временем поставок оборудования;

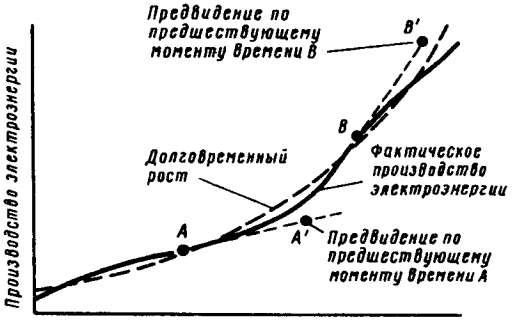
— технологическая природа изделия, требующая длительного периода производства, а также практика отрасли, производящей оборудование по особому заказу;

— существование избытка производственной мощности в отрасли, поставляющей оборудование;

— время запаздывания, свойственное производству оборудования при увеличении и уменьшении его объема.

Потребители оборудования обычно имеют значительный избыток электрогенераторной мощности на случай крайней необходимости. Этот избыток достаточно велик, и обычно он дает возможность маневрировать с временем заказов нового оборудования. Заказы на оборудование можно выдать заранее, если иметь в виду небольшое увеличение производственной мощности, и их можно отложить на определенное число месяцев, чтобы не вызвать потребности дополнительного увеличения мощностей, производящих оборудование. Так появляется огромный резервуар, с помощью которого можно регулировать темпы спроса без серьезных последствий для потребителей оборудования.

Потребители оборудования чувствительны к переменам в продолжительности времени, необходимого для поставки нового оборудования. Если производственная отрасль сильно загружена и запаздывание выполнения заказов увеличивается, фирмы — производители энергии стремятся ускорить темп своих заказов, предвидя, что поставки будут задерживаться дольше. Этот результат подобен рассмотренному в разделе 13.7, где перегрузка завода и увеличение запаздывания поставок приводили к повышению напряженности в темпах заказов. Тот же фактор запаздывания поставок был весьма важным для нестабильного поведения модели, рассмотренной в главах 14 и 15.



Р и с. 16-19. Предвидение потребления электроэнергии.

Как уже отмечалось, каждая генераторная установка должна создаваться по особому заказу потребителя. Это вошло уже в практику; обычно фирмы — производители энергии, требуя для себя специальной установки, не пользуются преимуществами в цене, которые может дать использование стандартной конструкции, позволяющей начать производство еще до получения заказов.

Методы предвидения нагрузки электрогенераторных установок должны быть в значительной мере связаны с экстраполяцией, о чем говорилось в разделе 16.8. Эта экстраполяция кривой роста потребления электроэнергии была сделана, кажется, с помощью очень небольшой константы времени усреднения; результаты показаны на рис. 16-19. Прерывистая кривая на диаграмме — это плавная линия долговременного роста. Фактическое производство электро-

[1] Исследование динамических характеристик промышленности электрогенераторного оборудования выполнил Александр Л. Паф в группе динамического моделирования Школы управления промышленностью при Массачусетском технологическом институте.

энергии колеблется вокруг этой линии по мере того, как изменяется промышленное производство национальной экономики. Если данные о предыдущем потреблении электроэнергии относятся ко времени более короткому, чем период колебаний, тогда предвидение усилит фактическое колебание, как это показано на рис. 16-19. Экстраполяция в период медленного роста, как в точке A, ведет к предвидению будущего в точке A'. Предвидение, сделанное в период более быстрого увеличения спроса, как в точке B, ведет к предвидению в точке B'. Дело не только в том, что точка B' лежит выше кривой фактического спроса, но и в том, что в интервале между A' и B' дефицит, представленный количеством, на которое точка A' лежит ниже кривой фактического спроса, приведет к заказам на новое оборудование. Методы формального предвидения обычно признают более продолжительный период как базу для прогноза; компоненты более кратковременного предвидения, вероятно, будут определяться психологическими переменными, характеризующими разные стадии выработки административных и финансовых решений о размещении заказов.

Существование избытка мощностей для производства генераторного оборудования является важным компонентом, определяющим нестабильность данной отрасли. Если бы производственная мощность существовала только для удовлетворения темпов долговременного роста, то стабильность отрасли существенно бы возросла. Избыток мощности возникает в результате желания каждой фирмы захватить максимальную часть заказов в период их подъема.

Другие, менее заметные факторы также, по-видимому, способны усилить колебания. Так, например, фирмы — производители энергии могут разместить несколько дополнительных заказов или в результате подъема общей активности, или в результате комбинации случайных обстоятельств. Эти заказы ведут к оптимизму в продаже и к увеличенным надеждам у производственной фирмы. Президент производственной фирмы может произнести речь о положении дел в его отрасли, сослаться на благоприятные последние проспекты и заявления или намекнуть, что книги заказов начинают заполняться. Президенты фирм, производящих электроэнергию, берут на заметку эти комментарии и побуждают свои технические и оперативные отделы передвинуть вперед даты их заказов на производственное оборудование. Это создает еще более оптимистическую обстановку в отделах реализации продукции. В результате небольшое количество такого рода обратной информации может породить реальное усиление в колебательной системе.

Если бы производители электрогенераторного оборудования представляли довольно значительную часть экономики страны, так что изменение фактического производства этого оборудования содействовало бы ощутимым колебаниям в производстве электроэнергии, то внешние взаимодействия системы существенно расширились бы. Конечно, при первоначальном изучении поведения такой отрасли мы, вероятно, должны были бы признать, что связь между ними достаточно тонка, чтобы не учитывать потребление страной электроэнергии и считать его независимым от этой отрасли промышленности. Однако при исследовании более крупных отраслей промышленности такого рода взаимодействия необходимо учитывать.

Глава 17

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА РУКОВОДЯЩИХ КАДРОВ

При динамическом моделировании предприятие рассматривается как сложная система. Само по себе моделирование дает ту научную основу, вокруг которой группируются объекты управления. В математических моделях применяется причинный метод установления взаимоотношений между любым необходимым числом факторов. Модели показывают, как описываемая система будет эволюционировать во времени. Динамическое моделирование промышленного предприятия можно использовать, чтобы наиболее просто ввести систему основных понятий, его можно также превратить в основной предмет, изучаемый студентами на последнем курсе и по окончании учебной программы. История промышленности (та ее часть, которая связана с обоснованием конкретных решений и фактов из практики промышленных отраслей, фирм и производств), а также линейная теория информационных систем с обратной связью особенно важны для динамического моделирования. Управленческие игры как средство подготовки руководителей имеют некоторые методологические особенности, общие с динамическим моделированием, но они недостаточно используют анализ структуры и руководящих правил. Игры соединяют в себе недостатки как законченного исследования динамической модели, так и анализа опыта реальной жизни, не имея преимуществ ни того, ни другого. Перед научным исследованием стоят требования — изыскать новые методы руководства современным развитием техники и экономики.

В этой главе будет установлена связь между динамикой системы и подготовкой руководителей. Учебная программа, построенная на основе изучения динамики системы, может быть напряженной, порождающей сомнения и вопросы. В подборе людей — как учителей, так и студентов — она требует применения иных принципов, чем до сих пор в школах управления. Стимул к научному исследованию управления может быть огромным, побуждающим перейти от простого собирания и объяснения фактов к руководству проектированием более эффективных мероприятий.

При исследовании динамики системы не требуется обязательно давать характеристики ее размеров: рост небольшой фирмы дает нам пример, подобный развитию новой отрасли экономики страны. Чем успешнее и точнее мы устанавливаем основные факторы, тем более универсальными они становятся как в исследованиях управления, производства или динамики рынка, так и в переходном или циклическом изменении, в управлении или экономике.

17. 1. Динамическая модель как целостная структура

Одна из очевидных слабостей подготовки руководителей состоит в том, что «изучаемый предмет имеет недостаточно хорошо очерченную базу или хорошо увязанную внутреннюю структуру» [1]. Этот недостаток наблюдается в университетах [2] в разделении учебных курсов по функциональным темам. Изучаемые темы объединяются только в курсах «хозяйственного руководства» или при разборе отдельных методов. Это может легко привести к тому, что последствия взаимодействий, связанных с обратной связью, между отдельными аспектами экономики не будут восприняты. Здесь могут иметь место не-

---

[1] Frank C. Pierson и др., The Education of American Businessmen, The Carnegie Series in American Education, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1959. Section 20.1.

[2] Даже профессиональные научные общества, исследующие вопросы управления, стремятся отойти от объединенной концепции процесса управления. Например, Институт науки об управлении разделил свою деятельность на «колледжи» (профессиональные подгруппы) по специальности: экономика управления, коммерческие вычисления и системы показателей, коммуникации управления, теория организации, процессы выработки решений, моделирование, управленческие игры, планирование, исследования и усовершенствование методов управления, психология управления, а также система мер в управлении. Такое дробление является карикатурой на подразделение и специализацию в рамках изучаемого предмета, если смысл деятельности руководителя — объединять и координировать — еще не утерян в процессе подготовки руководителей и исследования методов управления.

доразумения, потому что нет экспериментальной или другой объективной проверки различных представленных мнений. В учебных ситуациях решения принимаются на основе общепринятой практики, определяемой умением управлять в реальной жизни. При этом имеет место другой круг нашей системы информации с обратной связью — искусство обучать в колледжах, которое становится базисом будущей практики, которая в свою очередь вносит усовершенствования в систему обучения.

Всесторонняя динамическая модель может создать мост от отдельного эпизода к правилам управления и анализа, к изучению принципов и функций. Метод хозяйственных ситуаций, основанный на обсуждении и доказательстве, имеет преимущество широкой перспективы и обобщения, но ему недостает точности; он может легко опираться на неправильные интуитивные оценки источников трудностей; он ненадежен, когда мы следим за изменениями руководящих правил, и может навсегда сохранить ошибочное понимание сущности явления. С другой стороны, изучение отдельных правил и функций ведется по необходимости отдельно от взаимодействия с другими функциями; правила и аналитические методы в этом случае стремятся к статичности и не могут учесть первостепенного значения изменений во времени; задачи руководителя — объединять действия и сделать их успешными — утрачиваются и заменяются описанием и математическими задачами для нахождения оптимальных решений по искусственным проблемам.

Динамическая модель может состоять из неограниченного числа элементов. Она может иметь дело с любыми понятиями и взаимодействиями, какие могут быть описаны словами. Но она может идти и дальше. Модель может показать последствия взаимосвязей компонентов уже описанной системы. Она может показать, как изменения в организации и правилах приведут к изменениям характера системы. Она может внести ясность в обсуждение того или иного вопроса, показав, к чему приводят предложенные изменения в методах руководства — к улучшениям или ухудшениям дела, или же все останется без изменений.

Утверждение, будто динамическая модель не может объединить необходимую тонкость анализа с его полнотой, должно отпасть. Опыты применения модели во время обучения убедительно показали, что динамическая модель может включать большее число факторов системы, чем устное обсуждение. Каковы бы ни были недостатки анализа на модели, они менее существенны, чем при анализе без упорядоченной структуры взаимоотношений между частями рассматриваемой системы.

Объединение различных аспектов управления мы можем начать тогда, когда найдены общий язык и структура, одинаково пригодные для условий производства, сбыта, руководящих правил, исследований и усовершенствований, капиталовложений или правовых отношений. Здесь необходим такой язык и такая структура, которые могут устанавливать отношения между гипотезой и выводами, между причиной и следствием. Они были разработаны во II методологической части нашей книги, в главах с 3 по 12:

— уровни (запаса, знания, потребности, доверия, денежных средств или оборудования) представляют состояние, которого достигла система;

— информация о состоянии системы — это та основа, которая порождает решения;

— правила описывают методику, посредством которой информация превращается в решения. Правила могут быть как формальными, так и не формальными; они могут основываться на неизбежных физических характеристиках системы или на опыте и прецеденте;

— решения регулируют темпы потоков между уровнями. Возникает эволюция системы во времени. Эта эволюция показывает, к чему приводят структура и правила, которые были использованы для описания системы.

Динамическая модель изображает систему как угодно широко. Она дает количественные результаты, вытекающие из принятых предпосылок, и делает возможным изучение правил. Поэтому она становится эффективным средством обучения руководителей.

Различие между разработкой правил и оперативными решениями постепенно исчезает, если мы понимаем, что все решения являются результатом некоторого метода (правила) превращения информации в действие. Правила могут быть изучены на любом уровне, от склада до дирекции. Настоящий размах правил может быть определен, когда выясняется, как широко они воздействуют на систему и какую информацию необходимо использовать при принятии решений [1].

[1] Например, в главе 15 предлагается регулировать уровень численности рабочих в соответствии со всеобъемлющей системой правил, учитывающих темп продаж, особенности потребителя, запасы и задолженность по заказам.

Линейный руководитель и консультант правления потеряют свою нынешнюю склонность к конфликтам. Сейчас линейный руководитель считается ответственным за руководящие правила, но он слишком занят повседневными решениями и не может сам изучить целесообразность руководящих правил. Работник правления — консультант по конкретным решениям — единственный человек, у которого есть время на обдумывание правил, однако он не имеет авторитета и не несет ответственности за внедрение руководящих правил. Ясность наступит вместе с пониманием того обстоятельства, что правила и структура являются главными факторами, определяющими успех. Тот, кто разрабатывает руководящие правила и определяет организацию фирмы, является наиболее влиятельным лицом, воздействующим на рост, стабильность и прибыльность. Это ему должны принадлежать руководство, авторитет и ответственность. Он обязан располагать временем и способностями для организации предприятия. Он должен иметь тот авторитет и ту готовность рисковать, какими отличается современный линейный руководитель, но он будет нуждаться в обучении и освобождении от повседневных задач, что в настоящее время обычно характерно для положения консультанта правления.

Сейчас много пишется об ускорении процесса старения технологии — о том, как темп научного развития создает совершенно новые проблемы и как это влияет на темп пересмотра проектов и изделий. Часто это истолковывается как требование ставить только близкие цели, исходя из того, что сегодняшнее изделие завтра устареет. Независимо от того, верно ли это утверждение или нет, быстрое изменение зависит от нашей точки зрения и от степени абстрактности нашего мышления. Два или три десятилетия назад конструкция изделия могла действительно быть более или менее постоянной. Правила управления сводились тогда к распоряжению потоками материалов и рабочей силы с целью обеспечения непрерывного производства продукции. Планирование требовалось только для того, чтобы кого-нибудь опередить в строительстве заводов и создании сбытовых организаций. Теперь производственные проекты во многих отраслях недолговечны, поэтому правила должны охватывать иной круг проблем. Вместо того чтобы заниматься главным образом превращением сырья в продукцию, мы больше занимаемся преобразованием труда людей, идей и денежных средств в проекты. Непрерывный выход из этой системы — поток новых проектов. Схематически это все тот же процесс преобразования, при котором входящий поток сопровождается исходящим. На данном уровне абстрагирования, когда наше внимание сосредоточено на превращении источников в новые конструкции, продолжительность заинтересованности в данном изделии в действительности не сократилась, а удлинилась, если сравнить ее только с производством. В «доброе старое время» руководитель нуждался в правилах, которые управляли производственной мощностью завода, а в настоящее время он нуждается в правилах, управляющих формированием и деятельностью исследовательской организации, а она представляет собой более длительный процесс. Горизонт удалился, а не приблизился. Раньше непрерывным был выпуск продукции, теперь — выпуск новых проектов, а в принципе система осталась той же самой; сменились лишь некоторые параметры.

Общий подход к уровням, правилам, решениям и темпам потоков должен стереть искусственные различия между изучением фирмы и изучением промышленной отрасли или между преподаванием микроэкономики и макроэкономики. Те же основные виды решений, то же значение структуры, та же потребность в некотором объединении по тем же принципам, то же существование неопределенности, те же искажения от «помех» в решениях и темпах потоков — все это можно видеть повсюду, от углового аптекарского магазина до международной торговли. Пусть они различаются в масштабах, в том, что является спорным и неясным, но все они соответствуют одной и той же принципиальной структурной схеме.

17. 2. Структурные принципы системы

В этой книге много места было уделено «основополагающим принципам», которые определяют поведение системы. Сейчас еще слишком рано пытаться дать точно сформулированное, исчерпывающее толкование этих принципов, но их природа уже начинает выясняться.

Все принципы, подлежащие здесь рассмотрению, связаны с информационными системами с обратной связью. Это принципы систем, отличные от правил управления, которые излагаются в учебниках по организации производства и правовых отношений.

Так как принципы относятся к поведению систем, они не распадаются на отдельные группы. Мы не найдем здесь эквивалента отдельным

законам термодинамики, или законам движения Ньютона, или теории относительности Эйнштейна. (Хотя, впрочем, даже эти законы являются лишь неполными, несвязанными фрагментами не найденной еще более широкой объединяющей идеи.)

Понятие системы включает взаимодействие и взаимозависимость. Пытаясь установить, какие факторы являются общими для всех систем, мы должны иметь в виду их неделимость по существу. В некоторых ситуациях рассматриваемые ниже отдельные принципы можно выделить, в других случаях их лучше истолковать как различные виды взаимосвязанных явлений.

Поведение системы с обратной связью определяется ее структурой, запаздываниями и усилениями. Один из принципов обращения с подобными системами состоит в том, что мы должны следить за фактической эффективностью организационной структуры, а не только за тем, что представляется в формальных схемах. Мы должны внимательно наблюдать за наличием запаздываний, особенно за теми из них, которые просматриваются в каналах неофициальной информации и при выработке решений на наиболее высоких уровнях руководства. Усиления свойственны многим правилам системы, особенно при принятии открытых решений [1].

Чтобы указать метод подхода к такого рода принципам структуры системы, которые мы будем рассматривать, я перечислю некоторые из них, показанные на примере двух динамических моделей III части, в главах 13 и 15.

— Все решения системы содержат, скрыто или явно, представление о том, какое положение дел желательно. Темпы потока в системе определяются решениями, принимаемыми согласно правилам, эти правила в конечном счете сводятся к стремлению привести фактические уровни системы в соответствие с желательными уровнями. Этот процесс, в ходе которого решения изменяют фактические условия в желательном направлении, определяет систему с обратной связью и устанавливает рамки модели. Функция решения неполна, если она не действует в направлении некоторой цели [2]. Это не значит, что система обязательно достигнет искомого равновесия, поскольку взаимодействующие усилия, направленные к разным целям, могут постоянно удерживать систему вне равновесия.

— Часто мы сталкиваемся с такими условиями, при которых регулирующие силы вначале вызывают действие в направлении, противоположном желательному [1]. Эти силы могут быть далеко не стабилизирующими. Они возникают как часть обычного конфликта между соображениями близкой и дальней перспективы.

— Усиление встречается в тех точках системы, где с помощью правил пытаются отрегулировать такие уровни системы, желательная величина которых сама меняется при изменении темпов регулируемых потоков, связанных с этими уровнями, что было показано на примере запасов, пропорциональных темпам продаж, в главах 13 и 15.

— Запаздывания могут создать усиление, требуя, чтобы темпы входящего потока были выше темпов исходящего потока на величину, достаточную для накопления в запаздывании содержимого, равного произведению темпа потока на интервал запаздывания [2].

— Переменное запаздывание может вызвать усиление. Оно может привести к тому, что входящий поток будет изменяться при попытке регулировать исходящий поток. Кроме того, переменное запаздывание может быть причиной усиления при изменении темпа исходящего из резервуара потока.

— Усреднение или выравнивание данных вызывает естественное запаздывание информации. Усреднение необходимо, чтобы устранить незначительные связанные с помехами колебания (как, например, в информации о продажах). Чем больше величина помехи по отношению к желательной информации, тем большим должен быть период усреднения; очевидно, чем длиннее период усреднения, тем больше будет запаздывать информация.

— Если при прогнозировании экстраполируются прошлые тенденции и циклические колебания (как это обычно бывает), то оно является потенциальным источником усиления в системе. Это усиление, порожденное стремлением предвосхитить будущее, может способствовать формированию менее желательного будущего. Чтобы кривые можно было экстраполировать в направлении будущего, они должны

[1] См. раздел 9.4.

[2] Так, например, решение о закупке способствует приведению складских запасов к желательному уровню, а действия конторы по найму рабочей силы регулируют численность рабочих в соответствии с установленным ее уровнем.

[1] См. разделы 9.6 и 16.3.

[2] См. подраздел 13.7.1.

быть выравнены и хорошо обработаны. Но кривые часто строятся на основе искаженных сведений. Эти сведения усредняются, чтобы получить плавные кривые, но усреднение вызывает запаздывание. Чем дальше в будущее экстраполируется кривая, тем в большей степени она должна быть выравнена; но чем больше сведений усредняется, тем позднее получится результат. В связи с неустойчивостью многих имеющихся сведений о промышленности, вероятно, только немногие кривые можно полноценно экстраполировать из области прошлого в настоящее, а о будущем не может быть и речи.

— Все уровни по своему характеру очень похожи на то, что мы выделили и назвали запаздываниями. Запаздывание, как мы его понимаем, состоит из уровня (или уровней) [1], темп входящего потока которого регулируется, а исходящий поток неуправляем и определяется внутренней структурой запаздывания. Темп исходящего потока из других уровней системы, в которых отсутствует запаздывание, обычно регулируется непосредственно, а входящим потоком можно управлять лишь косвенно (как в заказах товаров на пополнение запасов). Правила управления системой обычно формулируются так, чтобы попытаться удержать в данном уровне некоторое определенное количество. Все уровни — как те, которые нами названы запаздываниями, так и другие — служат для разъединения темпов потока и этим вызывают (или делают это возможным) то, что изменения в одном темпе отстают от изменений в другом. Для тех уровней, которые мы называем запаздываниями, характерно отставание изменений темпа исходящего потока от изменений потока входящего. Для других уровней типичным является отставание изменения темпов входящего потока по сравнению с исходящим.

— Запаздывания и правила чувствительны к периодичности изменения потоков. Это значит, что они могут усиливать возмущения с определенным диапазоном частот и ослаблять их вне этого диапазона [2]. К тому же смещение фазы и запаздывание между входом и выходом будут зависеть от частоты помех.

— Запаздываниям не свойственно быть «плохими». Результат запаздывания зависит от его положения в системе [1]. Запаздывание может привести либо к усилению, либо к ослаблению влияния помех, в зависимости от того, где они появляются.

Приведенные принципы подсказывают нам, какие факторы *могут быть* наиболее важными. В настоящее время умение различать, какие факторы *могут быть* важными и какие уже *являются* таковыми, может быть достигнуто путем ввода соответствующих компонентов в модель системы и последующего определения ее общего поведения и изучения его зависимости от отдельных компонентов.

17. 3. Учебные программы

Если под управлением промышленным предприятием понимать организацию и регулирование системы и применение моделей, позволяющих исследовать ее поведение, то можно будет дать общую программу обучения управлению. Такая программа может быть принята как обоснование и эффективный «синтетический опыт» выработки руководящих правил. Изучение динамики системы может быть введено вначале на предпоследнем курсе института и продолжено в докторантуре и на курсах усовершенствования руководителей.

Цель. В учебном плане курса управления динамическое моделирование промышленного предприятия должно объединять другие предметы управления. Оно должно связать воедино различные функции и сделать понятным рост и изменение системы.

Гордон и Хауэл подчеркивают важность общего курса хозяйственного руководства. Они считают, что такой предмет должен включать изучение и анализ различных явлений и входить в программу последнего курса. В разделе 17.1 рассматривается, каким образом динамическая модель может придать стройность и точность анализу явления. Очевидно, что такой подход к изучению предмета не должен быть ограничен каким-либо сроком, пусть даже в год, так как студент не сможет быстро понять и усвоить закономерности поведения системы. Для полноты успеха студент должен погрузиться в теорию, анализ, лабораторную работу и

[1] См. раздел 8.3.

[2] В подразделе 13.7.3 показано, как система избирает и усиливает из ввода помех те частоты, которые близки к частоте собственных колебаний системы.

[1] В подразделе 13.7.7 увеличение запаздывания при регулировании запасов было одним из наиболее мощных способов уменьшить колебания системы. В главе 15 новые правила, введенные для увеличения стабильности, основывались скорее на более длинных, а не коротких запаздываниях при регулировании численности рабочих и величины запасов.

конструирование модели на значительный период времени. Здесь, разумеется, имеются данные, которые могут быть хорошо изучены и поняты, кроме того материала, который потребовался бы для перехода от учебной программы к докторской диссертации.

Проектирование предприятий путем использования динамических моделей благоприятствует нового рода лабораторной работе в области теории организации и правил управления. В определенной мере студент может уже при прохождении своей учебной программы начать приобретать опыт управления промышленными ситемами[1].

Динамика системы и связанные с ней модели вносят информацию с обратной связью в самый процесс обучения. Идею можно развивать, ее можно проверять на опыте, результаты проверки могут быть оценены, и идея может быть пересмотрена. Эта последовательность изобретения, эксперимента, оценки и пересмотра была проиллюстрирована в связи с разработкой моделей в главах 13—15.

Такое прохождение курса делает возможным наблюдение и оценку личных характеристик студентов, которые часто нельзя обнаружить при обучении, так как экзаменами проверяется главным образом запоминание фактов, а не глубина усвоения предмета. Преобразовывая описание явлений в динамическую модель, студент встречается с необходимостью определить проблему, отчетливо представить себе динамику явлений, проявить инициативу и умение при выборе надлежащих факторов, справляться с неопределенностью и неполнотой информации и проявлять изобретательность в поисках улучшений системы.

Последовательность изучаемых предметов должна привести к пониманию студентами следующих положений:

— существуют основные характеристики систем, по которым можно определить, являются ли эти системы электрическими, механическими, химическими, биологическими, промышленными или экономическими;

— между частями системы существуют важные взаимодействия; эти взаимодействия часто бывают более важны, чем индивидуальные характеристики компонентов;

— статический анализ — неподходящий инструмент для решения вопросов управления;

— наша интуиция ненадежна при определении поведения сложных информационных систем с обратной связью;

— экспериментальнй метод построения модели является мощным орудием в ситуациях, недосягаемых для интуиции или решений путем математического анализа.

Методика обучения. Управление — как и техника, медицина и архитектура — это практическая профессия, задачей освоения которой является достижение определенных целей. Успешно работающий практик должен иметь высокие стимулы к совершенству; только конечная цель оправдывает целесообразность усилий. Поэтому представляется неправильным тратить долгие годы на изучение основных предметов, если студент еще не имел возможности увидеть свою цель.

Экспериментальное изучение динамики систем не покоится на каких-либо математических методах, которые не могут быть усвоены за несколько недель после окончания средней школы. Обучение управлению промышленным предприятием можно поэтому начать с изучения количественной стороны динамики системы, в тесной связи с описательной ее стороной в виде ознакомления с историей, чтения и истолкования текущей ежедневной и еженедельной деловой печати. Такой подход привел бы к познанию как основ деловой активности, так и внешних проявлений связанных с ней проблем. Это стало бы впоследствии стимулом для изучения науки, техники, финансов, права, экономического развития, правил и других сторон управления.

Исходя из опыта почти трехлетнего преподавания курса динамического моделирования промышленного предприятия, можно сформулировать несколько предложений:

— эффективным методом преподавания предмета являются лекции и беседы, объединенные с различными формами лабораторной работы. Последняя может включать расчеты простых примеров вручную, изучение более сложных систем путем моделирования на электронно-вычислительной машине, если такая имеется, а также путем индивидуального и группового формулирования моделей различных явлений в промышленности;

— моделирование в классе, при котором студенты играют роль различных компонентов системы, может быть использовано для демон-

[1] Действительно, я наблюдал, как такого рода опыт позволил исследовательской бригаде аспирантов так глубоко понять проблемы изучаемой фирмы, что один из ее руководителей сделал следующее замечание: «Ясно, что теперь вы лучше, чем кто-либо из нашей фирмы, знаете, как надо руководить производством».

страции принципов, рассмотренных в разделе 17.2. Групповое моделирование может убедительно показать, что окружение является веским определителем «добровольных» решений и что «очевидное» лучшее решение, властно диктуемое доступной информацией, делает интуитивные решения различных людей удивительно похожими;

— даже в том случае, когда имеются электронная вычислительная машина и автоматический составитель программ, особое внимание должно быть уделено ручному подсчету простых динамических последовательностей. В этом случае хорошо выбранный пример дает большое количество информации студенту. Кроме того, время, требующееся на вычисление вручную, позволяет студенту наблюдать распространение возмущения по всей системе. В высокой степени ориентируют несложные действия, как, например, ступенчатый ввод в каналы снабжения. При превращении некоторых запаздываний из экспоненциальных в дискретные и при удлинении интервала решений приблизительно до одной недели одно из состояний сбытовой системы в главе 13 становится доступным для вычислений вручную. При надлежащем руководстве студент может изучить особенности взаимодействий темпов и уровней, узнать, каким образом запаздывания вызывают усиления, а различные правила принятия решений воздействуют на систему;

— при обучении динамическому моделированию промышленного предприятия преподаватель должен сосредоточить внимание на деловых понятиях, на способах выражения и установления взаимоотношений между факторами, не отвлекаясь на вопросы техники и методологии. В противном случае основная цель — изучение поведения системы — может легко утонуть в море ненужных технических мелочей [1];

— немалое число новых членов дирекции школ управления обучается теперь технике. Некоторые из них увлекаются использованием при решении задач управления терминов, заимствованных из области техники, хотя для этого нет веских оснований. Предмет не должен быть поставлен в невыгодное положение требованиями искусственной, необоснованной переработки терминов;

— возможности современных крупных электронно-вычислительных машин могут придать преподаванию экспериментальных динамических систем напряженность, живость и размах. Преподаватель такого курса должен иметь опыт построения моделей довольно сложных систем и их проигрывания на электронно-вычислительной машине. Однако преподаватель, имеющий этот опыт и верящий в то, что он делает, может, по-моему, достаточно эффективно вести курс и на базе ручной вычислительной техники, пользуясь методами группового моделирования. Приходится сожалеть, что современная электронно-вычислительная машина еще малодоступна, но это не должно помешать преподаванию динамического моделирования.

Родственные предметы. Функциональные предметы должны включать изучение сил, действующих внутри отдельных отраслей управления, и показывать, каким образом решения подвергаются влиянию информации, появляющейся внутри и вне функционального подразделения. Понимание отдельных функциональных областей существенно для их включения во всеобщую систему. Некоторые учебные предметы, отношение которых к динамической системе не так очевидно, заслуживают особого упоминания.

Хорошее изложение истории экономических систем, промышленных отраслей, фирм и отдельных проектов может служить как описательный исходный материал для конструирования динамических моделей. В этом материале должно, конечно, содержаться описание наиболее важных факторов. Однако в действительности получить такой материал трудно. Часто причины решений, которые были ясны на заседании комиссии или дирекции, своевременно не записываются, и историку, появляющемуся на сцене позднее, они остаются неизвестными. Для воспоминаний, как и для многих документов, характерна склонность описывать события и действия не такими, какими они были в действительности, а какими они должны были быть. История часто недостаточно говорит о таких

[1] Студенты Массачусетского технологического института, даже те, которые не имеют предварительного опыта работы на электронно-вычислительной машине, получают одночасовую или двухчасовую лекцию с описанием имеющейся в институте машины. Кроме того, они в состоянии научиться использовать современную электронно-вычислительную машину как орудие исследования с помощью технических инструкций и некоторого инструктажа со стороны ассистента лаборатории. Здесь преподаватель мог бы допустить довольно длинный перерыв для практических занятий по электронным вычислениям и программированию; однако на самом деле в этом нет нужды. При наличии подходящих письменных инструкций студенту предоставляется возможность поступить так, как при изучении логарифмической линейки. Преподавание в классе должно сосредоточиться на системах управления с точки зрения руководителя, а не консультанта правления.

взаимодействующих силах, как организационная напряженность, личная заинтересованность, технологические факторы, сопротивление достижению решений, противоречивость целей и т. д.

Поучительная история прошлых ситуаций в области управления — это один из факторов, улучшающих понимание динамических систем. Способность к построению моделей сложных систем и изучению их поведения должна сделать изучающих прошлые события более внимательными к важным переменным системы. Они всегда должны пытаться возможно лучше исследовать и описать правила, согласно которым действия и давление различных обстоятельств оказывало влияние на выработку решений.

В совершенно другой области — на курсах изучения сервомеханизмов во многих технических отделах дается превосходная база для изучения промышленных систем. Хорошая подготовка к анализу линейных систем развивает интуитивное понимание и острое восприятие тех факторов, которые определяют типичные особенности поведения систем с обратной связью.

Основные принципы построения обычных систем с обратной связью можно в равной мере использовать как в инженерных, так и в промышленных и экономических системах, хотя количественная сторона здесь существенно различна. В нашем случае нет простых, однозвенных систем контроля, в которых есть одна точка, где ошибка обнаруживается, и одно место, где исправление ошибки контролируется. Как обнаружение ошибки, так и контроль распределяются по всей системе. И то и другое содержится в каждом решении. Многие приемы практического конструирования, предназначенные для технических систем, не применимы к социальным системам. Многие методы полезны в технических системах в силу особых характеристик этих систем. Технические системы стремятся проектировать и использовать таким образом, чтобы нормальные рабочие частоты, собственные частоты системы и выраженные частоты помех были бы различными. Это, кажется, не имеет места в наших промышленных системах, в которых возмущающая помеха, собственные частоты системы и рабочие частоты — все входят в одну частотную группу. По моему мнению, теория сервомеханизмов будет оставаться важной частью тех общих знаний, на фоне которых готовятся руководители в области динамического моделирования промышленных предприятий, но как экспериментальное и оперативное орудие теория сервомеханизмов непосредственно применяться не будет.

Массачусетский технологический институт в 1961 г. В 1961 г. курс динамического моделирования промышленного предприятия был включен в каждую из четырех программ Школы управления промышленностью при Массачусетском технологическом институте. Для студентов последнего курса и аспирантов имелись два факультативных связанных между собой односеместровых курса, составлявших вместе учебный год. Получавшие стипендию им. Слоуна (мужчины в возрасте от 30 до 40 лет, направленные их фирмами в институт на полный календарный год) слушали этот предмет 3 часа в неделю в течение 7 недель; к этому добавлялись 9 часов на лабораторную работу. Программа для старших администраторов (10-недельный курс для руководителей промышленности в возрасте от 40 до 50 лет) содержала введение в этот предмет, рассчитанное на 6 лекционных часов.

В будущем имеется в виду расширить нынешние два курса для аспирантов до четырех связанных между собой односеместровых курсов с общей продолжительностью 2 года.

Как это было характерно для других дисциплин в прошлом [1], динамическое моделирование, вначале развивавшееся только в аспирантуре, стало затем частью курса методов управления на последнем курсе института. На всем протяжении программы последнего курса оно давало общий подход к функциональным предметам и непрерывно вводило студентов в существо поведения промышленного предприятия, в его проблемы, историю и текущую печать.

17. 4. Люди

Рассматривая вопрос о том, какие особенности человека больше всего подходят для занятий методами динамического моделирования, изложенными в этой книге, мы должны выделить заинтересованность и целеустремленность людей двух разных положений: во-первых — обычных студентов, во-вторых — руководителей, которые намереваются всерьез заниматься научными исследоваями или практическим управлением.

Для обычного студента, изучающего управление, курс динамического моделирования мо-

[1] Например, курс электронно-вычислительных машин, читавшийся аспирантам Массачусетского технологического института в 1949 и 1950 гг., через 10 лет был включен в программу многих средних школ.

жет быть включен в программу в любом объеме, начиная с нескольких лекций. Как бы программа ни была сжата, этот курс несколько расширит понимание предприятия как сложной системы. Если предмет излагается с целью обучения студентов, он может быть приспособлен почти для любого уровня математической подготовки, хотя в этом есть свои опасности. Дело в том, что техника и методология могут показаться очень простыми и может создаться впечатление, будто окончания среднего учебного заведения или всего одного курса университета будет достаточно, чтобы из студента сделать специалиста по анализу систем.

Трудность изучения курса динамического моделирования промышленного предприятия состоит в выборе проблемы для разработки и в нахождении факторов, относящихся к намеченной теме. Изучение этого курса можно разбить на следующие этапы:

— определение целей изучаемой системы;
— наблюдение симптомов;
— установление действительной проблемы;
— выявление спорных моментов в системе;
— оценка границ, внутри которых лежат причины затруднений;
— выбор факторов, которыми следует заняться;
— разработка формальной модели процесса;
— применение модели для воспроизведения взаимодействий системы при выбранных условиях;
— толкование значения результатов моделирования;
— изыскание путей усовершенствования системы;
— повторение всех этих этапов, чтобы приблизиться к действительным проблемам и улучшить правила управления.

Начинать изучение моделирования с седьмого и восьмого пунктов (конструирование модели и ее применение) очень полезно, так как при этом студент заранее ознакомится с наиболее конкретными аспектами предмета и особенностями поставленных задач. Однако настоящее удовлетворение можно получить в результате изучения первых пяти пунктов, связанных с определением проблемы, и последних трех — объяснения результатов и усовершенствования системы.

Здесь мы и переходим ко второму типу людей, то есть к тем, кто готовится стать руководителем на учебном или промышленном поприще.

Преподаватель или человек, проектирующий предприятие, если при этом он не является опытным и компетентным управляющим, может чрезмерно много времени уделить вопросам техники седьмого или восьмого пунктов. Конструирование модели и работа над ней — это наиболее конкретные этапы и, пожалуй, наиболее легкие. Если не будет приложено большого старания, то при выполнении трудных для восприятия и понимания первых шести пунктов могут быть приняты простые и в значительной степени произвольные допущения. Более того, когда модель сконструирована и моделирование закончено, глубокий анализ и объяснение причин полученных результатов будут, вероятно, подменены простыми наблюдениями.

Преподаватель или исследователь из правления фирмы, которые узко специализированы в области методологии, может методологию поставить выше роли руководства. Чтобы поддерживать правильную перспективу в отношении динамики систем, требуется человек с широким кругозором. Он должен интересоваться целями улучшения систем, а не только методом анализа. Но в то же время он должен остерегаться широты без глубины — такой подход ведет к поверхностному толкованию тонких и сложных проблем.

Пока мы находим два типа людей, наиболее преуспевающих на данной работе. Один тип — это работник, чьи интересы сосредоточены на управлении коммерческим делом и кто знаком с анализом систем с обратной связью (в результате изучения механического, электрического или гидравлического оборудования). Второй тип преуспевающего работника — это необыкновенно сведущий и умный руководитель промышленности. Практически он также имел дело со сложными системами с обратной связью. Но возможно и лучшее: теперь встречается много людей, которым свойственны способности и работников знания обеих групп.

Чтобы быть успевающим, человек должен тонко чувствовать динамику системы и понимать факторы, определяющие принятие решений. Он должен стремиться глубже вникать в лучшие методы управления. Напротив, значительно меньший успех в усвоении методов динамического моделирования обнаружили в нашем институте те, кто сначала изучал математику, исследование стандартных операций и эконометрику. Те, кто больше интересуется последними дисциплинами, кажется, часто испытывают недостаток одного или даже всех свойств,

необходимых для исследования динамической системы, — интуиции и понимания реальной деловой жизни.

Испытав различные способы без заметного успеха, мы начали разработку некоторых представлений о той подготовке, которая нужна человеку, чтобы стать эффективным руководителем в области динамического моделирования промышленного предприятия. Этот человек должен, конечно, питать интерес к предмету. Он должен не только интересоваться простым собиранием информации и пониманием системы, но также желать внедрения в систему новых идей и улучшений. Ему нужна высокая честность. Он должен обладать тем характером, который позволяет разбираться в тонких и запутанных обстоятельствах фирмы и ее недостатках, не отпугивая людей.

Независимо от подготовки он должен пройти общую теорию линейных и дискретных систем и довести свои знания предмета до уровня двух или трех законченных курсов. Если он чувствует, что недостаточно знает дифференциальные уравнения и технику, он должен пройти три или более предварительных курса, пока не достигнет в изучении системы уровня аспирантов. Такая последовательность курсов в теории динамики должна проводиться параллельно с изучением материала, изложенного в этой книге. Прямой зависимости этой книги от теоретического материала нет, но все же правильная интерпретация и понимание рассмотренного здесь материала будут в большой степени способствовать пониманию сущности предмета теории линейной динамики.

Наряду с указанными выше материалами студент может изучать функциональные предметы управления, историю экономики и промышленности и регулярно читать ежедневную и еженедельную деловую прессу.

Так как характер подготовки руководителей меняется, то также будет изменяться значение подготовки докторской диссертации для деловой деятельности. В настоящее время эта подготовка рассматривается как ступень на пути к педагогической работе. Таково было отношение к углубленному изучению техники 25 лет назад, но теперь степень доктора является обычным этапом на пути к высшим техническим постам в промышленности. По мере роста потребности в квалифицированном управлении возрастает необходимость более глубокой научной подготовки руководителей. Можно ожидать, что те же тенденции, которые характерны для других профессий, будут развиваться и в области управления. Вначале углубленное изучение подготовит преподавателей. Но так как профессия специалиста в области управления эволюционирует, углубленное изучение теории станет обычным путем к более высоким руководящим постам [1].

Расширение и углубление основ науки об управлении ничего не изменит в том факте, что управление — это род искусства. Лучшими руководителями будут те, которые умеют правильно оценивать обстановку и принимать необходимые меры. Правильный образ действий при определении наиболее значительных целей и путей к ним дается в управлении не скоро, гораздо медленней, чем в технике, юстиции или медицине. Поэтому, чтобы мог сформироваться специалист в области динамического моделирования промышленного предприятия, он должен иметь возможность накопить опыт и приобрести веру в свои силы. Это, по-видимому, требует некоторой формы «интернов» [2].

Эффективное «интернирование» было дано аспирантам Массачусетского технологического института в форме ассистентуры на весь период их исследовательской работы. В Школе управления промышленностью это делается по образцу программ, очень эффективно практиковавшихся в технических отделах института в продолжение последних трех десятилетий. Ассистент, полностью занятый исследованием, работает в новой области знаний, имеющей серьезное, актуальное значение. Работа обычно состоит в усовершенствовании и применении новых методов при решении проблем, представляющих значительный интерес для какой-нибудь посторонней организации. Практикующий ассистент работает над новыми концепциями и методами, над их внедрением в практику. Считается, что такой человек будет ответственным участником разрабатываемой им темы, посвящая ей все время, кроме тех часов, когда он должен бывать на учебных занятиях. Его диссертация обычно близка к теме по службе, так что эти две работы друг друга дополняют. В своей дипломной работе он может продвигаться со скоростью при-

[1] Левитт и Уислер утверждают, что в будущем занятие постов высшего руководства будет все больше зависеть от специальной подготовки, а не от выдвижения работников с низовых должностей фирмы (см.: H. Leavitt, T. Whisler, Management of the 1980's, Harvard Business Review, vol. 36, № 6, pp. 41—48, November — December, 1958, Section 3.3, 20.4).

[2] «Интернами» в США называются молодые специалисты-практиканты, которых содержит предприятие или учреждение.— *Прим. перев.*

мерно в половину той, с какой продвигается студент, полностью отдающий время учебным занятиям.

Тщательно подобранный ассистент при полной нагрузке и надлежащем научном руководстве может принять ответственное участие в разработке динамической модели. Он может внести полезный вклад в усовершенствование основных методов и технических приемов. Если у него имеются надлежащие личные данные, он может работать в самой промышленной организации, занимаясь изысканиями новых способов производства, и, беседуя с руководителями различных рангов, выявлять факторы, влияющие на решения. Наиболее способные люди часто выходят из этой ассистентуры (после 3—4 или более лет, если они дошли до степени магистра или доктора), публикуя статьи и заслуживая своими оригинальными исследованиями национальное или международное признание. Объединив науку с практикой, такой человек становится способным возглавить руководство новыми исследованиями или приступить к работе в промышленной компании.

17. 5. Управленческие игры

Управленческие игры вызвали большой интерес и в учебных кругах и как мероприятие фирмы по обучению руководителей. Ввиду того что эти игры получили определенное распространение, необходимо здесь на них остановиться. Это особенно требуется потому, что по внешнему виду игры очень похожи на динамические модели, рассматриваемые в этой книге, но в учебном отношении они действуют почти в противоположных направлениях.

Применяемый здесь термин «управленческая игра» означает ситуацию, при которой часть промышленной системы представлена динамической моделью, но некоторые потоки информации передаются участнику игры, который выносит решения и включает их в систему по мере того, как моделирование развивается. Чаще всего привлекается довольно много людей, которые наряду с моделированием, выполненным электронно-вычислительной машиной или судьей, разыгрывают весь представляемый процесс деловых операций.

Есть некоторое сходство между деловой игрой и полной динамической моделью. В динамической модели, как говорилось выше, все части системы и все руководящие правила отображены в соответствующих решениях, принятие которых производится механически электронно-вычислительной машиной. В деловых играх большая часть системы отображена формальными правилами, введенными в машину, но отдельные решения выносятся участниками по мере развертывания игры. В обоих случаях мы имеем математическую модель, электронно-вычислительную машину, сосредоточенность на деловой системе; в обоих случаях имеет место стремление к углубленному пониманию более широкого круга деловых операций. На этом сходство кончается.

Управленческая игра объединяет в себе недостатки как полной математической модели, так и процесса изучения реальной модели действующей фирмы, и в то же время не имеет их принципиальных преимуществ. Как и при изучении деловой системы на основе взятых из реальной жизни фактов, участник игры смотрит на модель как на «черный» ящик, который он пытается раскрыть своими решениями, чтобы увидеть, какова будет реакция. В комплексной нелинейной системе это труд напрасный и неблагодарный. Если бы даже модель была хорошей и правильно представляла отображаемые процессы, участник игры не смог бы своими внешними воздействиями раскрыть всю их сложность.

В деловой игре основное внимание уделяется внешним проявлениям, а не внутренней структуре и ее значению. В самом деле, внутренней структуре уделяется относительно мало внимания, которое сосредоточивается на получении поверхностной, внешней видимости реальных примеров; большое значение здесь имеет стремление увеличить театральный эффект. Достаточно только наблюдать типичные примеры таких игр, чтобы немедленно обнаружить искажающие компромиссы, введенные с расчетом на зрителей.

Управленческая игра, если она чему-нибудь учит, обычно отстаивается как практика, иллюстрирующая хорошую выработку решений. Такая практика является хорошей с точки зрения организаторов игры. Но они обычно не являются крупными руководителями и умелыми новаторами в искусстве управления. Игра в таких случаях становится орудием продолжения старых трафаретов и строится таким образом, чтобы вознаградить те решения, которые, по мнению организатора игры, этого заслуживают. Играющий, таким образом, обучается по образцам, которым организатор игры отдает предпочтение. Всякий руководитель, участвующий в управленческой игре, чтобы научиться лучше руководить, должен старательно

исследовать, будут ли его решения в игре оцениваться так, как это свойственно его собственной фирме.

Управленческую игру часто сравнивают с приборами, подобными механическому тренажеру Линка для обучения летчиков. Эта аналогия хорошая, она сразу показывает недостатки метода. Механический тренажер Линка предназначен для усиления и демонстрации автоматических реакций во время обучения. Тип ситуаций, на которые он должен реагировать, определен заранее. Информация, которая должна быть представлена для тренировки, предопределена. В самом деле, не требуется большого интеллекта, чтобы установить точные, соответствующие правила, при которых в результате обучения будет выработана наилучшая реакция. Можно сказать, что обучение летчика при помощи механического инструктора Линка производится потому, что это наиболее доступная и наименее дорогая машина для обучения заранее предопределенным приемам и правилам выполнения анализа обстановки и выработки решений. Напротив, при конструировании нового, необычного и улучшенного типа самолета механический инструктор Линка не имеет практически никакого значения. Конструктор самолета испытывает свою модель в аэродинамической трубе, поведение математических моделей изучается на электронно-вычислительных машинах, а новые идеи и новые задания конструктор осуществляет в новой, улучшенной машине. По этой аналогии руководитель в будущем будет скорее в положении человека, ищущего новую, улучшенную систему воздушного транспорта, а не в положении того, кто обучен как робот, как часть механического оборудования.

Однако в определенных условиях управленческая игра может принести пользу. Организаторы игры подчеркивают, что в ходе ее устанавливается, в какой степени участники игры вносят в нее яркость и эмоциональность. Это, конечно, верно, но является ли эмоциональность тем качеством, которое необходимо для целеустремленного, творческого управления? Значительность взаимодействующих частей системы управления оставляет у участников управленческой игры более сильное впечатление, чем они представляли себе до игры. Это хорошо [1]. Прежде играющий мог только отвлеченно представить себе, сколь значительно взаимодействие между частями системы. Теперь же он глубоко убежден, что взаимодействия в системе действительно имеют большое значение. В общем он не будет знать, какова природа взаимодействий, но он будет убежден, что они значительны. Управленческая игра может поэтому служить как первый шаг в изучении динамики систем, где руководитель находится за сценой и действительно понимает, как части системы относятся друг к другу. Для этой цели обычно достаточно одного или двух дней игры.

Мы уже видели, в чем различие между динамическим моделированием промышленного предприятия и управленческими играми. Моделирование акцентирует внимание на *базисе* для достижения решений. Оно подчеркивает необходимость изучения и нахождения правил, которые должны быть применены при принятии решений. Внимание сосредоточивается на внутренних процессах динамики предприятия и на том, каким образом они взаимодействуют. Это

[1] В связи с изучением методов динамического моделирования мы часто посвящали один день игре при помощи ручного вычислителя, который представлял собой упрощенную модель, описанную в главе 14. Игра состояла в том, что студент ставился в положение руководителя производства фирмы, поставляющей детали. Он должен был выработать только одно решение: определить, какое число рабочих надо каждую неделю нанять или уволить. Ему была известна общая структура запаздываний при передаче заказов потребителей производственному отделу. Ему были даны договорные условия профсоюза о сроках предупреждения об увольнении, и он знал, сколько продолжается подготовка новых рабочих, прежде чем они смогут полноценно включиться в производство. Ему также была дана часть особой информации, которая обыкновенно руководителям производства остается неизвестной,— это сведения о решениях покупателя, связанных с размещением заказов на детали. Руководитель производства выносит каждую неделю одно решение о найме или увольнении (которое может быть представлено 5 минутами реального времени). Путем надлежащего подбора коэффициентов (в разумных пределах) можно создать ситуацию, при которой почти каждый участник игры, будь он студентом или опытным руководителем, сможет проследить очень большую нестабильность численности рабочих, даже в том случае, когда предприятие-потребитель применяет изделие рассматриваемой фирмы в абсолютно неизменном количестве в процессе своего собственного производства. Как только руководитель начинает наблюдать в ходе игры колебания, которые, по его мнению, вызваны сезонными изменениями спроса, он принимает соответствующие решения. Но обычно они только ухудшают дело, так как на самом деле эти колебания являются отражением изменяющегося запаздывания поставок деталей потребителю. Упражнение, таким образом, приводит участвовавших в его выполнении к двум выводам. Во-первых, они начинают понимать огромное значение взаимодействий между частями системы. Во-вторых, им становится ясно, что то решение руководства, которое представляется на первый взгляд добровольным, на самом деле в очень большой степени обусловлено окружающей обстановкой.

изучение внутренней структуры, исследование взаимоотношений между причинами и следствиями. Целью моделирования является и создание более успешно действующей системы, которая может иметь новую структуру, новые руководящие правила и различные источники информации.

С другой стороны, управленческая игра следует примеру делового мира, подчеркивает значение интуитивных решений, без достаточного внимания к следствиям, вытекающим из различных способов достижения этих решений. Управленческие игры увековечивают природу черного ящика делового мира. Структура причинных связей самой игры не является предметом изучения. Игра акцентирует внимание на кратковременном кризисе и принятии в связи с ним немедленного решения, а не на долгосрочной разработке правил и организации, которые позволили бы избежать кризиса. Если в управленческой игре стараются улучшить выработку интуитивных решений, она направляет риск, свойственный нелинейным системам обучения, на особую комбинацию обстоятельств, имеющихся в игре, но не дающих базиса для определения, когда же эти особые условия перестанут существовать. Короче говоря, управленческая игра — это игра.

17. 6. Исследования в области управления

В научных исследованиях систем управления многое следовало традиции искусств и социальных наук — собирались данные о прошлом и искались объяснения настоящего. Однако настоящее может быть не только предметом объяснений. Ему нужны полезные идеи для управления промышленностью и руководства экономикой.

Университетское исследование имеет такую же возможность взять на себя энергичное новаторское руководство в области управления, какую мы видели в высшей школе в области медицины, естествознания и техники. Ломка старых шаблонов должна базироваться на новых гипотезах, подтвержденных экспериментально. Необходимы смелые опыты, чтобы находить новые идеи для инициативного проектирования.

Эксперименты над действующими организациями очень дороги, требуют весьма много времени и чрезмерно трудны для интерпретации; поэтому не следует их рассматривать как образец экспериментального метода исследований Главное бремя экспериментов в системах управления могут взять на себя математические модели. Определенное число практических опытов может быть проведено лишь для того, чтобы эксперименты на моделях сделать соответствующими действительности.

Исследования в области управления должны иметь целью разработку новых взглядов на управление и создание новых типов организации и правил. Эти исследования должны быть устремлены вперед; новые идеи должны внедряться в практику. Чтобы это осуществить, программы исследований, согласованные между университетами и промышленными организациями, должны касаться наиболее важных проблем; они должны завершаться экспериментами на моделях и передачей рекомендаций для проверки в действующие организации.

Возможности исследований имеются в широкой области, начиная от правил управления запасами и темпами производства, как мы видели в III части книги, и кончая проблемами международной торговли, финансового и экономического развития. В особенности в последней области мир должен многое постигнуть. Возникающие теперь новые государства предъявляют большие требования. Наша книга не отвечает на вопрос, каким путем должно идти первобытное общество, чтобы быстрее достигнуть уровня более передовых в экономическом отношении стран. Должно ли такое общество пройти все стадии, через которые прошли мы, или оно может перескочить через некоторые из них? Успехи в истории случаются нечасто, и, более того, очень сомнительно, чтобы молодым государствам было целесообразно следовать примеру развития тех стран, которые были успевающими в прошлом. Какими же должны быть структура, правила, размещение ресурсов, расчет времени, цели и стремления, чтобы они привели к успеху? Здесь открывается арена для новаторского создания моделей. Необходимо объединить все факторы экономики, политики, образования и технологии, чтобы лучше понять динамику постоянного быстрого роста. Какие должны быть стадии экономического развития? Какого рода нужны люди? Где их взять и кто их будет обучать? Соединенные Штаты сами себя выставляют как пример экономического развития, но они не дают ясного и координированного плана, по которому другие могут овладеть образованием, политическими и экономическими силами для всеобщего блага. У нас нет плана потому, что

нет правильного понимания динамики роста. Но это только одна из возможностей исследовать управление.

Экспериментальный подход должен занять место чистого наблюдения. Математическая модель должна включать все факторы, которые, по нашему мнению, являются существенными для решения близких проблем. Мы не должны удовлетворяться упрощенным анализом, чтобы легко получить аналитические решения. Мы должны отказаться от поисков оптимальных текущих решений в интересах наступления на важные проблемы. Надо возможно больше получать от улучшения областей с крупными возможностями, чем от превращения менее важных областей в оптимальные.

Глава 18

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КАДРЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ

Изучение динамики предприятия следует начинать как долгосрочную программу, когда деятельность фирмы еще незначительна по размаху, дабы избежать давления с целью получения немедленных результатов. Решающее значение имеет подбор людей, подходящих с точки зрения управления и имеющих необходимый технический опыт. Этим лицам надо дать возможность проявить свое понимание проблем фирмы и динамического поведения системы. Отвечающие своему назначению работники потребуются также для занятия руководящих постов фирмы.

Часто задается вопрос о том, каким образом динамическое моделирование превращается в полезное орудие управления фирмой. Здесь надо отметить по меньшей мере два важных соображения. Во-первых, фирма должна с надлежащей энергией разворачивать работу по составлению планов систематического долгосрочного развития. Во-вторых, она должна подобрать подходящих людей, которые начнут анализировать главные проблемы фирмы и факторы, определяющие возможные улучшения.

Быстрота получения результатов фирмой будет зависеть от качеств людей, которые привлечены для динамического моделирования, а также от обстановки внутри фирмы. Даже при наиболее благоприятных обстоятельствах, когда привлеченные люди оказываются пригодными с самого начала, пройдет 3 или 4 года, прежде чем изучение динамики предприятия достигнет того уровня, когда можно будет получать определенные рекомендации для улучшения управления. Этот период времени уйдет на то, чтобы установить правильные перспективы и надлежащее отношение к исследовательской группе, предоставить ей возможность завоевать доверие руководителей фирмы к своей работе, выяснить действительно важные проблемы и определить те рыночные и внутренние факторы, от которых зависят предложенные мероприятия. После этого первый опыт применения разработанных рекомендаций в реальных условиях может потребовать 2—3 или более лет для его официального принятия и оценки. На все это дело в целом может потребоваться добрых 10 лет, прежде чем этот подход будет признан ответственным руководством фирмы обоснованным и эффективным. В течение этого десятилетия те, кто накопил личный опыт в планировании развития фирмы, продвинутся выше на руководящие посты и смогут ускорить принятие новых методов управления.

Если такой интервал кажется чрезмерно длинным, то стоит сравнить наше понимание динамического моделирования фирмы с другими, более простыми мероприятиями, для осуществления которых требовалось по меньшей мере столько же времени. Электронные цифровые вычислительные машины для обычных конторских процессов обработки информации известны уже более 10 лет, и все же большинство вычислительных установок в 1961 г. рассматривалось только как механизмы, дающие экспериментальную оценку будущего положения вещей. Новое изделие может потребовать 10 лет от начала его исследования и усовершенствования, пока оно не будет пользоваться успехом на рынке. О применении же динамического моделирования как средства управления мы говорим как о процессе, который по присущим ему свойствам будет идти медленнее, чем применение отдельных приемов науки об управлении или усовершенствовании нового изделия. Когда мы приходим к признанию необходимости усовершенствовать новое изделие, это не встречает эмоционального сопротивления. Есть уверенность в его важности, и работа по улучшению изделия пользуется благосклонным отношением руководства. Другое дело — новые методы руководства. Они могут вначале рассматриваться с недоверием и временно встречать препятствия, а не помощь.

Динамическое моделирование фирмы не будет развиваться так быстро, чтобы касаться текущих затруднений кризисного характера

Оно не должно начинать с того, чего от него ожидают в первую очередь, — изыскания путей выхода из той или иной тяжелой ситуации, хотя, конечно, она должна помочь избежать подобных положений в будущем. Моделирование не должно предприниматься как метод предсказывания определенных событий в будущем или как гарантия правильности какого-то определенного решения. Вместо этого оно должно служить целям лучшего понимания процесса управления и увеличения частоты успешных решений, а не гарантии полезности отдельного решения [1].

Руководитель обязан учесть, как будет изменяться энтузиазм в отношении к новому делу. Пока деятельность развертывается, энтузиазм будет высок по всем направлениям оптимистических ожиданий будущего. Этот первоначальный энтузиазм склонен снизиться, если вопреки всем предупреждениям результаты не придут так быстро, как это ожидалось. В начале изучения динамики первые модели фирмы и результаты их проигрывания укажут, что необходимо сделать в будущих моделях, а не те новые идеи управления, которые могут стать полезными немедленно. В первоначальных планах изучения динамики предприятия целесообразно учесть возможность вторичной реакции разочарования, которая часто сопровождает новые предприятия любого типа. В данном случае опасность может быть больше, чем в оценке энтузиазма в отношении к новому изделию, потому что история не знает успехов в других подобных ситуациях, где бы отношение склонялось в пользу доверия. В этот момент выбор неподходящего руководителя группы динамического моделирования может еще более усилить настроения безнадежности, несмотря на появление к этому времени группы по реорганизации.

Важно, далее, избегать применения динамических моделей там, где уровень активности не может быть поддержан. Гораздо лучше начать с низкого уровня деятельности, планируя постепенный рост, чем начинать с более крупной программы, которая ввиду ее объема должна дать быстрый успех.

Процесс анализа и улучшения особенностей хозяйственной системы обходится недорого. Он больше зависит от качества, а не от численности персонала. В самом деле, поразительно, как много может быть сделано одним человеком в течение трех или четырех лет. Однако группа из одного человека нежелательна ввиду ее неустойчивости. Если этот один человек решит уйти с работы или возьмет на себя другие обязанности, вся начатая им работа будет прервана и пропадет. Поэтому рекомендуется группа по крайней мере из 3 человек, которые могут работать совместно, друг другу помогать и друг друга контролировать. Группа в 3 человека достаточна для того, чтобы вновь поступивший в эту группу мог заменить выбывшего без нарушения работы группы в целом.

В книге уже не раз говорилось, что динамическое моделирование — это орудие для квалифицированного, ответственного и творческого руководителя. Поэтому тот, кто внедряет этот метод в фирме, должен быть — или по крайней мере должен стремиться быть — достаточно квалифицированным для занятия важного руководящего поста. Так как подготовка таких людей — процесс длительный, фирма может начать подготовку с группы молодых людей, но это должны быть люди, способные разви-

---

[1] Желание истолковать определенное решение обычно сильнее, чем интерес к общей политике. Это показывает, что краткосрочная точка зрения ставится выше долгосрочной. Показательный пример имел место в моей беседе с руководителем одной фирмы. Заведующий отделом товаров длительного пользования сказал: «Очень интересно. Но как может динамическая модель подсказать мне, сколько надо произвести изделий новообъявленного образца?» Этот новый образец был удобным видоизменением другого, хорошо продуманного и давно известного изделия. Вопрос касался того, стоит ли переходить к производству нового образца в полном объеме на основе обещаний о продаже, сделанных оптовиками. Некоторые подобные ситуации в прошлом развивались успешно; в других случаях, напротив, энтузиазм оптовиков не был поддержан розницей. Не надо думать, что динамическое моделирование уже вступило в такую стадию, чтобы быть в состоянии ответить на такой конкретный вопрос. Вместо этого оно могло бы быть использовано для понимания природы этого особого новаторства в производстве. Улучшится ли в действительности положение фирмы на рынке в результате того, что она будет первой с изделием нового образца? Или же скажется долгосрочная репутация изделия, качеств его исполнения и безаварийной работы? Должна ли новинка разрабатываться быстро, в связи с чем значительным становится первоначальный вопрос о предварительном испытании изделия, в предвидении спроса? Или же риск состоит главным образом в неудовлетворенности покупателей, которая может возникнуть в случае преждевременного наводнения рынка неиспробованным образцом? Правила, которые должны управлять производством, зависят от характера и времени реакций рынка. В каких сделках мы участвуем? Должны ли решения о производстве приниматься по мере развития спроса и поступления информации по обычным каналам или успех зависит от информации, получаемой особыми путями? В последнем случае — оправдываются ли расходы на побочные источники информации, которые могут быть полезными при вынесении решений о производстве? Эти вопросы должны быть продуманы заранее; на них следует ответить до начала кризиса.

ваться и вырасти до уровня высших руководителей. Первостепенное значение имеют смелость, честность, умение правильно разбираться и понимать проблемы и задачи фирмы. Затем они должны иметь или развить у себя реальное чутье к динамическому поведению сложных систем. Они должны быть людьми, которым управление доверяет, а работа с ними доставляет удовольствие. Они должны быть людьми, которым можно доверить все важные тайны и надежды фирмы.

Кажется, что такого рода люди встречаются очень редко, но на самом деле это не так. Большое число людей в возрасте от 25 до 40 лет, имеющих надлежащий опыт, теперь появляется на руководящих постах во многих фирмах. Тем фирмам, которые занимались военным производством, имели химические предприятия и электростанции, нетрудно находить в их технических отделах квалифицированных людей для работы в области динамики промышленных организаций. Коммерческие школы со временем подготовят квалифицированных руководителей. Однако потребуется время для выработки программ по их обучению и установлению последовательности курсов в течение нескольких лет, чтобы подготовить необходимых специалистов-экспертов. Пока такой учебный процесс не будет внедрен в жизнь, самые квалифицированные люди будут приходить из тех же промышленных организаций, где уже сложились традиции работы по динамическим системам.

Подходящий кандидат должен поставить своей целью улучшение деятельности фирмы. Он не математик, заинтересованный в аналитических процессах ради них самих. Он не специалист по исследованию операций, который считает себя ученым и советником вместо того, чтобы быть руководителем с личной ответственностью за успех организации. Он должен иметь смелость для принятия решений в любых областях деятельности фирмы [1].

В описываемом здесь человеке будет большая нужда для замещения и других должностей фирмы. Динамическое моделирование является для фирмы преждевременным до тех пор, пока не станет ясно, что она в состоянии бороться за наиболее способных людей. Случайная посылка человека на учебу совершенно ничего не даст.

Человек, который берется за динамическое моделирование главным образом для того, чтобы продвинуть свое личное положение в фирме, обречен на неудачу. Он, может быть, ищет такую волшебную палочку, чтобы связать с ней свою собственную карьеру. Его способности и честность, по-видимому, таковы, что он всегда находится под подозрением и не склонен радоваться тому, что его товарищи пользуются полным доверием. Очень важно, конечно, чтобы человек, который берется за новое дело, был его энтузиастом. Все же, кроме энтузиазма, он должен иметь соответствующую квалификацию.

Бывают, несомненно, исключения, но группа динамического моделирования редко удачно функционирует в составе отдела электронных машин или ординарной группы советников правления, работающих экспертами по исследованию операций. В первом случае отдел занят огромным объемом срочных конкретных работ; он склонен подойти к динамическому моделированию как к применению электронной машины, а не с точки зрения высшего руководства. Во втором случае часто ориентируются на науку, и в частности на математику, а не на вопросы управления.

Кажется, что наиболее успешное применение динамического моделирования будет иметь место тогда, когда оно предпринимается на долгосрочной базе и передается в руки обычного руководителя, который подходит к человеку с точки зрения его способности изучить новые методы управления, какие он сам сумеет применять в будущем как ответственный руководитель фирмы.

Наконец, встает вопрос об объеме фирмы, для которой динамическое моделирование более всего подходит. По первой общей предпосылке оно является орудием для использования главным образом в крупнейших предприятиях. Так как этот метод сильно развился, для такого вывода других оснований, как будто, не требуется. В больших организациях функциональные перегородки обычно бывают сильнее, чем в небольших фирмах, затрудняя этим прохождение человека через все виды деятельности — от исследования до сбыта. Начинает казаться, что ввиду быстрого роста организации среднего и малого объема могут стать тем

[1] Я знаю одну группу специалистов, которая была приглашена фирмой заниматься динамическими исследованиями. Группа состояла из исключительно высококвалифицированных специалистов в техническом отношении, однако по временам и они проявляли недостаточную смелость. По откровенному личному мнению ее участников, как и по моему, область *xyz* имела решающее значение в подлежавших изучению процессах. Все-таки они никак не желали выяснить, как эта область действует, как принимаются в ней решения и как она должна быть представлена в модели системы, потому что «в нашей фирме нетактично обращаться с вопросами по этой части».

местом, где рассмотренные в этой книге методы могут получить вначале наиболее удачное применение. Такие организации часто более гибки. Они могут быть более отзывчивыми на предложения служащих фирмы, так что при желании последних исследовать новый метод управления такие организации идут им скорее навстречу. В более новых фирмах руководство часто моложе, надеется удержаться на службе дольше и принимает более долгосрочный план развития компании, чем это делается в более старых фирмах. Расходы на исследования систем управления невелики, и они не вызывают трудностей в организации с годовой продукцией в 1 млн. долл.

Ввиду организационного риска и неуверенности в подборе подходящего квалифицированного человека нет также уверенности в первоначальном успехе любой программы динамического моделирования. Однако такой же риск имеется во многих других случаях, где потенциальные выгоды не так велики. Здесь идет игра на ставки, сравнимые с обычной ожидаемой предельной прибылью в промышленности.

ИНТЕРВАЛ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ

В разделе 6.5 рассмотрены правила выбора интервала *DT* при решении уравнений модели динамической системы. Следовало бы вновь прочесть этот раздел, прежде чем переходить к настоящему приложению.

Выбор интервала зависит от взаимоотношений уровней и темпов потоков в системе. Уровни взаимосвязаны с входящими и исходящими потоками через среднюю величину запаздывания, которое они испытывают в данном уровне. Такое суждение правильно в отношении всех уровней, а не только тех, которые проявляются в формах, называемых нами запаздываниями. Когда интервал решения становится слишком большим, содержимое уровня может оказаться сравнимым с тем количеством, которое поступает или исходит из уровня в течение данного интервала времени. Если это случается, то либо интервал решения слишком продолжителен, либо уровень, о котором идет речь, потерял свое значение в системе и может быть опущен из рассмотрения (почтовые запаздывания не учитывались при рассмотрении модели производственно-сбытовой системы в главе 13).

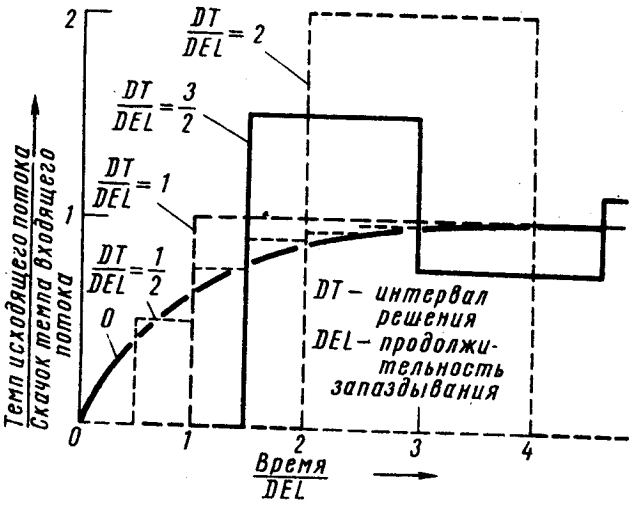
Влияние изменения интервала решения можно проследить, рассмотрев уравнения запаздываний первого порядка (см. главу 8, уравнения 8-1 и 8-2).

$$LEV.K = LEV.J + (DT)(IN.JK - OUT.JK)$$

$$OUT.KL = \frac{LEV.K}{DEL}.$$

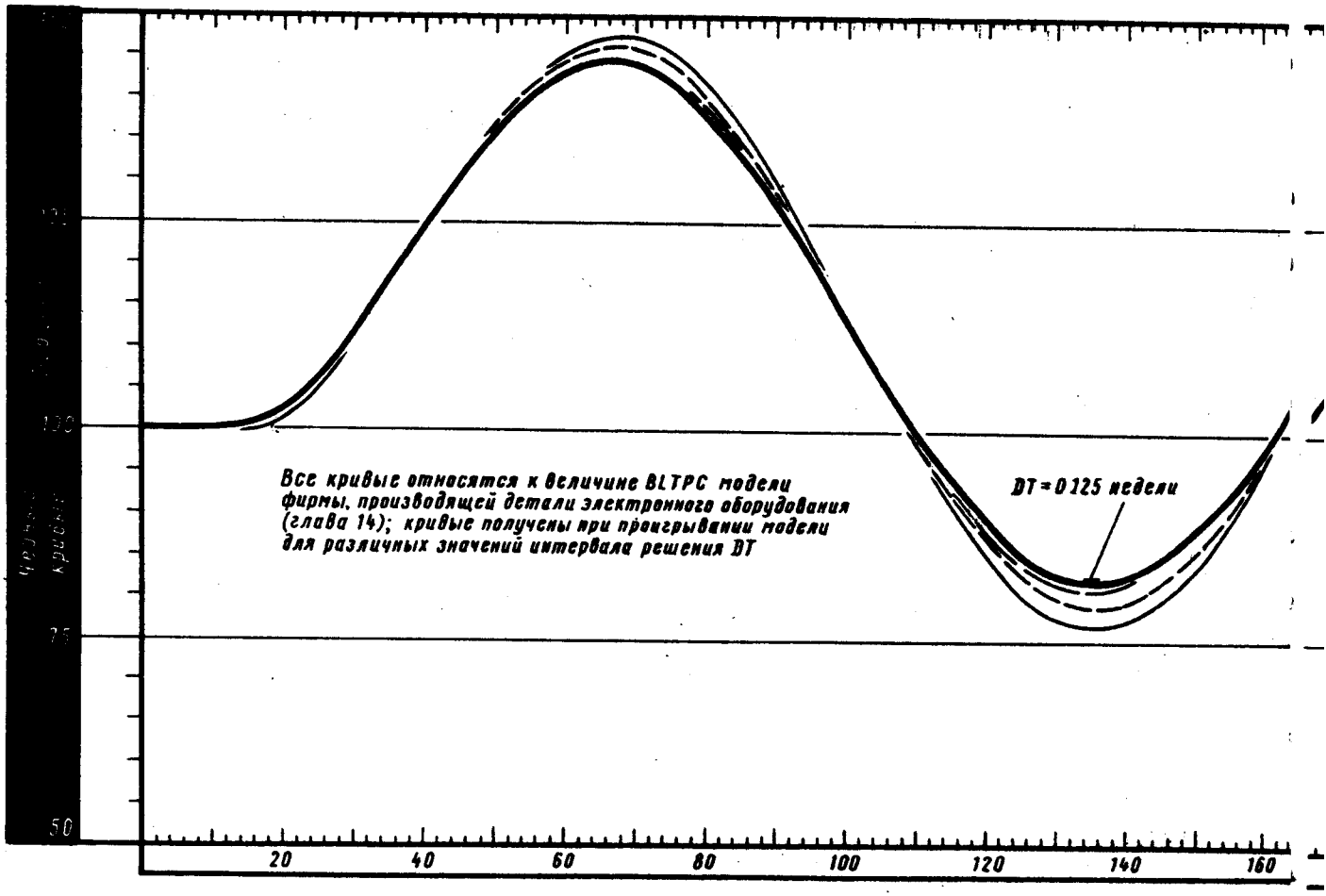
Предположим, что запаздывание вначале отсутствует; при этом темпы входящего и исходящего потоков равны нулю; скачок темпа входящего потока в одну единицу за единицу времени имеет место в момент времени, равный нулю. На рис. *A*-1 показаны итоговые кривые при различных отношениях величины интервала решения ко времени запаздывания, *DT*/*DEL*. По горизонтальной оси отложена отвлеченная величина отношения времени к величине запаздывания *DEL*.

Если интервал решения пренебрежимо мал, то практически в результате получается экспоненциальная кривая, показанная на графике для интервала, равного 0. Когда *DT* составляет половину от *DEL*, то в первой расчетной точке уровень, как и величина выходного темпа, достигает половины своего конечного значения. Остающаяся разница между выходными и входными темпами сокращается за каждый интервал времени наполовину.



Р и с. *A*-1. Реакция запаздывания первого порядка на ступенчатый ввод при различных отношениях интервала решения *DT* к запаздыванию *DEL*.

Если интервал решения равен времени запаздывания, то уровень и темп исходящего потока достигают своих конечных величин к моменту окончания первого этапа вычислений. Экспоненциальное запаздывание приобретает некоторые черты, характерные для запазды-



Р и с. *А*-2. Влияние изменения интервала решения.

вания в каналах снабжения. (Однако таким способом нельзя определять общее запаздывание в каналах снабжения.)

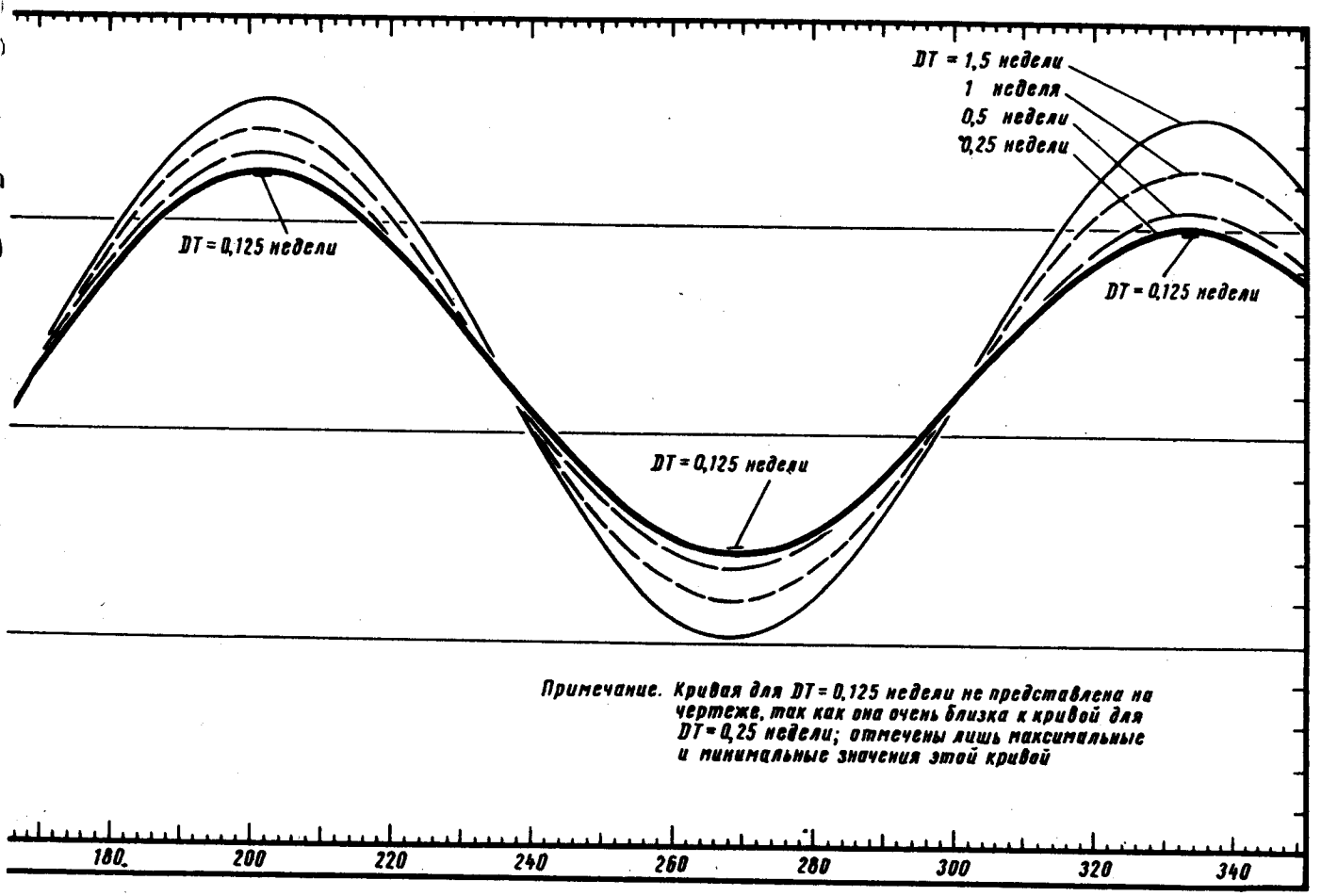
Для еще больших интервалов решений первый вычисленный уровень (как для кривой при $DT=^3/_2$ времени запаздывания) превысит его установившуюся величину. Темп выхода превысит темп входа. На следующем этапе вычислений величина уровня получится меньше своего установившегося значения. Если интервал решения находится между *DEL* и 2 (*DEL*), то в кривой выхода возникнут затухающие колебания.

При *DT*, равном 2 (*DEL*), при появлении скачка на входе на выходе возникнут незатухающие колебания. Если интервал решения *DT* больше, чем 2 (*DEL*), то колебания на выходе величины будут непрерывно возрастающими.

Кривая на рис. *А*-1 для интервала решения, равного половине постоянной запаздывания, вероятно, является приемлемым приближением, если только некоторые из запаздываний в системе приблизятся к выбранному значению интервала решения.

Следует иметь в виду, что запаздывание третьего порядка состоит из трех запаздываний первого порядка. Если для каждого из них принимать отношение $DT/DEL=\frac{1}{2}$, то интервал решения в этом случае должен быть равен или меньше $^1/_6$ от постоянной времени запаздывания любого экспоненциального запаздывания третьего порядка.

Критерий, использованный здесь для выбора интервала решения, обусловлен структурой системы и ее внутренними динамическими свойствами. Выбор величины интервала между



вычислениями в модели нельзя связывать с таким фактором, как периодичность, с которой возможен сбор информации в моделируемой реальной системе. Интервалы решения, выбранные по предложенной здесь методике, будут гораздо короче тех, которые упоминались в литературе по экономическим моделям, и иногда составляли год, даже тогда, когда изучались кратковременные ежегодные изменения в системе.

Влияние величины интервала решения может быть определено эмпирически, с помощью ряда проигрываний модели с тем, чтобы выяснить, в какой мере величина интервала решения сказывается на результатах. Это было сделано на модели (рис. 15-9) фирмы, выпускающей детали электронного оборудования с учетом ранее применявшихся методов управления при величине *TBLAF*, равной 40 неделям. Результаты приведены на рис. *A*-2.

Проигрывания проводились при величине интервала *DT*, равной 0,125 недели, 0,25 (как и в главе 15), 0,5, 1,0, 1,5 и 2,0 недели. Величины, полученные при интервалах *DT* в 0,125 недели и 0,25 недели, настолько близки друг к другу, что их трудно различить на графиках. Проигрывание для *DT*, равного 2,0 недели, в числовом отношении было неустойчивым, и на 76-й неделе величины превысили значения, допускаемые разрядностью регистров вычислительной машины.

Этот конкретный анализ с помощью счетно-решающего устройства должен быть особенно чувствителен к влиянию величины интервала решения, так как была использована ступенчатая входная функция, а колебание системы было «свободно протекающим», без наличия управляющей функции для регулирования периодичности. Даже при таком условии время

наступления третьего максимума заключено в пределах одной, 335-й недели для каждой из кривых.

Величина амплитуды при различных интервалах решения изменяется несколько больше, чем период колебаний; относительные величины амплитуды после двух полных периодов колебаний приведены в табл. *А*-1.

Отношение третьего максимума к первому составляет 0,79 для интервала решения в 0,125 недели, 0,85 — для интервала в 1,0 недели и

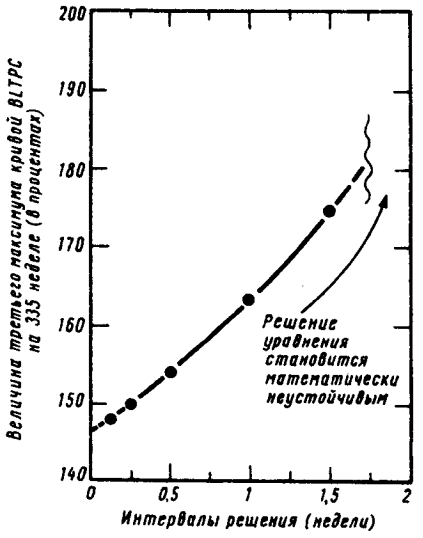
Таблица *А*-1. Влияние интервала решений на амплитуду колебаний

Интервал решения (недели)	Величина третьего максимума (в % от начального значения)
0,125	148
0,25	149,9
0,5	153,9
1,0	163,3
1,5	174,8

0,90 — для интервала в 1,5 недели. Эти различия несущественны по сравнению с теми изменениями результатов в различных условиях, которые наблюдались в главе 15.

Некоторые постоянные времени в модели главы 14 (*DCPF*, *DMBLF* и *DSF*) равны 1 неделе, то есть они меньше самого большого интервала решений в табл. *А*-1. Как видно из таблицы, ошибка в вычислении начинает довольно быстро увеличиваться. При интервале решения в 2 недели некоторые типы внутренних взаимодействий приводят к неустойчивому решению. Зависимость между интервалом решения и величиной третьего максимума кривой невыполненных заказов *BLTPC* графически представлена на рис. *А*-3. Величина *BLTPC* измеряется в процентах от ее первоначального значения.

Изложеннсе свидетельствует о том, что обычно можно выбирать интервал решений *DT*, равный или меньший 0,5 недели (меньше половины самого короткого времени запаздывания первого порядка, в данном случае равного 1 неделе для *DCPF*, *DMBLF* и *DSF*). Такой



Р и с. *А*-3. Результаты расчета в зависимости от величины интервала решения.

выбор величины *DT* дает численные результаты, незначительно отличающиеся от тех, которые получились бы при меньшей величине *DT* (см. рис. *А*-2).

Приложение *B*

ВЫРАВНИВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Темпы потоков в промышленных и экономических системах обычно нерегулярны. Решения, порождающие эти потоки, принимаются под влиянием множества локальных событий. Нерегулярность потоков обусловливается разнообразными причинами: различиями в поведении людей, нарушением будничного ритма в предвыходные дни, угрозой забастовок, погодой, праздниками, ошибками, возникающими при сборе и обработке данных, использованием неопределенных и непостоянных принципов при выборе решений, зависимостью цен на товары от величины партии поставки, что стимулирует увеличение размера заказов, затратами на запуск и характером технологического процесса, когда поточное производство заменяется партионным, различием в продолжительности отчетных периодов (например, отдельных месяцев), событиями внутренней и внешнеполитической жизни, влияющими на настроение народа, практикой соблюдения заранее установленной частоты усреднения информации и принятия решений.

С другой стороны, многие действия руководства, зависящие от нерегулярных потоков, должны быть ограничены таким образом, чтобы реагировать только на сглаженную информацию. Нельзя допускать, чтобы темпы производства на заводе так же резко изменялись, как потоки ежедневно поступающих заказов.

Запасы возрастают и сокращаются медленно. Руководитель обычно весьма критически настроен в отношении мер, предпринимаемых другими лицами, и в то же время он пытается выявить как можно раньше любое длительное изменение, которое требует от него определенных действий.

Действия, направленные на выявление основных и существенных изменений в потоках информации и имеющие целью исключить такие колебания, которые большой роли не играют, принято называть выравниванием или усреднением. Выравнивание поступающей информации в известной степени имеет место в каждой точке системы, где принимаются решения.

Следует различать два метода выравнивания данных. Наиболее очевидный, но редко применяемый метод сводится к формальной числовой обработке информации для получения средних величин. Другой метод, более часто используемый, хотя и менее точный, представляет собой интуитивное выравнивание, основанное на ожидании и наблюдении в процессе принятия решений.

Наличие в системе формального математического процесса выравнивания легко обнаружить. Это практика, основанная на установившихся руководящих правилах. Еженедельные, месячные, квартальные и годовые отчеты о сбыте, производстве и затратах содержат величины, усредненные в пределах указанных промежутков времени. Эти формальные процессы выравнивания можно найти во многих каналах потоков информации.

Кроме того, дальнейшее выравнивание обычно вводится в систему в точках принятия решения. Мы могли бы рассматривать это как «психологическое выравнивание». Действительно, очень редко предпринимаются немедленные и энергичные действия в ответ на изменение поступившей информации, даже если это изменение является результатом числовой обработки первичных данных. Тенденция задерживать принятие решения до тех пор, пока изменение в поступившей информации не станет явным и пока другие многочисленные факторы не будут указывать на изменения в том же направлении, является выравниванием, обусловленным либо рассудительностью, либо проволочками, либо нерешительностью.

Процессы выравнивания представляют собой основу для правильной трактовки динамики системы. Выравнивание позволяет исключить кратковременные шумы и помехи. Но процесс выравнивания неизбежно вводит запаздыва-

ния в информационные каналы и в сферу принятия решений. Выравнивание изменяет чувствительность системы к колебаниям данных с различной периодичностью. Это — свойство выравнивания. Следовательно, процесс выравнивания искажает либо в лучшую, либо в худшую сторону информационные потоки в системе.

Выравнивание всегда является компромиссным процессом. Здесь всегда существует дилемма: или в большей степени выравнять информацию, чтобы уменьшить вредный шум, или выравнять ее в меньшей степени, но зато сократить время запаздывания информации. Процесс выравнивания характеризуется двумя показателями: уменьшением кратковременных, но значительных по величине колебаний и возникновением запаздывания во времени. Они будут проанализированы после рассмотрения двух общепринятых способов выравнивания.

Проблема выравнивания сама по себе является сложной и большой проблемой. Здесь мы рассмотрим только наиболее простые положения.

Выравнивание представляет собой процесс рассмотрения ряда данных за прошедший интервал времени с целью выявления основного, определяющего их содержания, характеризующего значение рассматриваемой величины в текущий момент времени. Методы выравнивания могут изменяться в широких пределах в зависимости от того значения, которое мы придаем данным за различные периоды времени в прошлом. Здесь мы рассмотрим два метода выравнивания: метод равномерного выравнивания и метод экспоненциального выравнивания. При равномерном выравнивании каждой величине временно́го ряда придается одинаковая значимость. «Средняя величина продаж в течение последних 8 недель» является средней арифметической. Продажи за 8 недель складываются вместе (одинаковая значимость), и общую сумму делят на 8. Средняя величина могла бы определяться следующим образом:

Средняя арифметическая =

$$= \frac{1}{8}(S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 + S_8),$$

где S_1 — соответствует последней неделе;
S_2 — предшествующей ей, более ранней неделе и т. д.

Средние арифметические величины обычно используются в тех областях, где располагают официальными статистическими средними данными. Недельные, месячные и годовые уровни, характеризующие функционирование системы, являются средними величинами в том смысле, что в них придают одинаковый вес всем данным, включенным в рассматриваемый интервал. Так как эти средние величины подсчитываются через большие интервалы времени, равные периоду усреднения, то их следует рассматривать как прерывистые или отдельные величины.

Другим известным методом выравнивания, рассматриваемым ниже, является экспоненциальное выравнивание. В этом случае данным придают прогрессивно уменьшающееся значение по мере того, как эти данные относятся ко все более ранним интервалам времени. Значимость данных за прошедшие промежутки времени устанавливают по экспоненциальному закону, то есть значимость каждой предшествующей величины уменьшается в одно и то же число раз. Например, экспоненциальная средняя при постоянной времени усреднения в 8 недель применительно к полным недельным продажам может быть вычислена следующим образом:

$$\frac{1}{8}\left[S_1 + \left(1 - \frac{1}{8}\right)S_2 + \left(1 - \frac{1}{8}\right)^2 S_3 + \left(1 - \frac{1}{8}\right)^3 S_4 + \ldots + \left(1 - \frac{1}{8}\right)^n S_{n+1} + \ldots\right],$$

где
S_1 — величина продаж за последнюю целую неделю,
S_2 — за предшествующую ей, более раннюю неделю и т. д.

В общем случае при постоянной времени выравнивания в T недель экспоненциальная средняя величина будет определяться следующим образом:

$$\frac{1}{T}\left[S_1 + \left(1 - \frac{1}{T}\right)S_2 + \left(1 - \frac{1}{T}\right)^2 S_3 + \ldots + \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n S_{n+1} + \ldots\right].$$

Следует отметить, что принципиально каждая прошлая величина оказывает свое влияние на значение средней величины. Однако практически коэффициенты, определяющие значимость последних членов, становятся настолько малыми, что влияние этих членов ока-

зывается несущественным, и ими можно пренебречь. Сумма коэффициентов ряда

$$1+\left(1-\frac{1}{T}\right)+\left(1-\frac{1}{T}\right)^2+\ldots$$
$$\ldots+\left(1-\frac{1}{T}\right)^n+\ldots$$

при непрерывном увеличении числа его членов стремится к величине T. Следовательно, при постоянном уровне продаж в каждом прошлом периоде средняя величина стремится, как и следовало ожидать, к той же самой величине.

При экспоненциальном выравнивании наибольший вес придается самым недавним величинам, и убывающие по прогрессии значения — наиболее устаревшей информации. Этот процесс ближе к интуитивному методу нахождения средних величин, чем процесс определения равномерной средней величины. Эта форма выравнивания достаточно удобна для отображения реальных условий и влияний в модели системы.

Экспоненциальная средняя имеет практическое преимущество по сравнению со средней арифметической величиной при использовании вычислительных машин. Экспоненциальную среднюю величину гораздо легче рассчитать, чем среднюю арифметическую. Средняя экспоненциальная величина в момент времени, равный единице, согласно ранее изложенному, равна

$$A_1=\frac{1}{T}\left[S_1+\left(1-\frac{1}{T}\right)S_2+\left(1-\frac{1}{T}\right)^2S_3+\ldots\right.$$
$$\left.\ldots+\left(1-\frac{1}{T}\right)^nS_{n+1}+\ldots\right],$$

где величины S представляют собой прогрессивно устаревающие значения переменной (например, продаж), которая усредняется. Индексы обозначают время в прошлом. В последующий интервал, когда время равно 0,

$$A_0=\frac{1}{T}\left[S_0+\left(1-\frac{1}{T}\right)S_1+\left(1-\frac{1}{T}\right)^2S_2+\ldots\right.$$
$$\left.\ldots+\left(1-\frac{1}{T}\right)^{n+1}S_{n+1}+\ldots\right].$$

Эта величина равна сумме нового члена и ранее определенной средней величины A_1, умноженной на соответствующий экспоненциальный коэффициент; следовательно,

$$A_0=\frac{1}{T}S_0+\left(1-\frac{1}{T}\right)A_1=$$
$$=A_1+\frac{1}{T}(S_0-A_1).$$

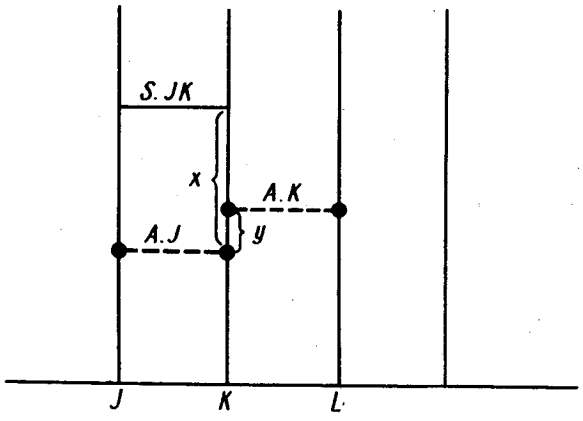
Каждое новое значение средней может быть рассчитано на основе значения средней за предшествующий период и нового значения переменной, которая выравнивается. Ранним, предшествующим значением средней величины можно затем пренебречь, и в дальнейшем следует иметь дело только с одним числовым значением средней, а не с длинным рядом более ранних данных. Последняя форма аналогична использованной в уравнении 13-8, где мы установили, что интервал между решениями не обязательно должен быть таким же, как единица времени, использованная для определения постоянной времени усреднения T. Суммарная коррекция прежней средней величины для каждого интервала решения будет равна вышеприведенной величине, умноженной на продолжительность интервала решения. Экспоненциальная средняя, обобщенная для любого интервала решения, принимает форму:

$$A.K=A.J+\frac{DT}{T}(S.JK-A.J), \qquad B\text{-}1,\ L$$

где

A — среднее значение величины S (те же единицы измерения, что и S);
DT — интервал решения (единицы времени);
T — постоянная времени экспоненциального выравнивания (единицы времени);
S — переменная величина, которая подвергается выравниванию (в соответствующих единицах измерения).

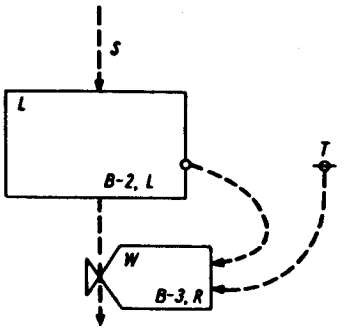
Схематически экспоненциальное выравнивание показано на рис. B-1. В начале вычислений, в момент времени K, известно старое



Р и с. B-1. Экспоненциальное выравнивание.

значение средней величины $A.J$. Выравниваемая величина обозначена $S.JK$. Разность $(S.JK—A.J)$, входящая в уравнение B-1 и обозначенная x, будучи умноженной на $1/T$, дает необходимую коррекцию для каждой целой единицы времени; умножая затем эту величину на DT, мы определим коррекцию на данном интервале решения y.

Теперь мы остановимся на рассмотрении запаздываний в потоках информации, которые возникают в результате ее усреднения. Сопоставим уравнение B-1 с обычной парой уравнений, используемых для отображения экспоненциального запаздывания первого порядка.



Р и с. B-2. Экспоненциальное выравнивание первого порядка и запаздывание.

Допустим, что S в уравнении B-1 является вводом в запаздывание, выход из которого обозначен индексом W (см. рис. B-2). Уравнения экспоненциального запаздывания первого порядка могут быть представлены в следующем виде:

$$L.K=L.J+(DT)(S.JK—W.JK), \qquad B\text{-}2,\ L$$

$$W.KL=\frac{L.K}{T}, \qquad B\text{-}3,\ R$$

где

L — уровень в запаздывании (единицы S, умноженные на время);

S — входящий поток информации (в своих единицах измерения);

W — исходящий поток из запаздывания (те же единицы, что и S);

T — постоянная времени экспоненциального выравнивания (единицы времени).

Уравнение B-3 может быть записано для более раннего периода:

$$W.JK=\frac{L.J}{T}.$$

Подставив это значение в уравнение B-2, получим

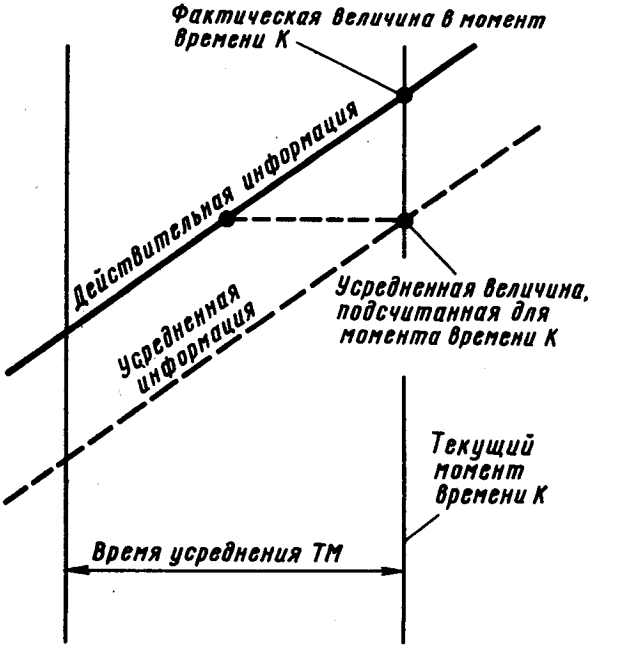
$$L.K=L.J+(DT)\left(S.JK-\frac{L.J}{T}\right).$$

Если мы теперь предположим, что $L.K=(T)(A.K)$, то после простых преобразований получим уравнение

$$A.K=A.J+\frac{(DT)}{T}(S.JK-A.K),$$

которое идентично уравнению B-1. Следовательно, уравнение экспоненциального выравнивания и уравнение запаздывания первого порядка эквивалентны.

Экспоненциальное выравнивание первого порядка вызывает запаздывание в потоках информации той же величины и формы, что и

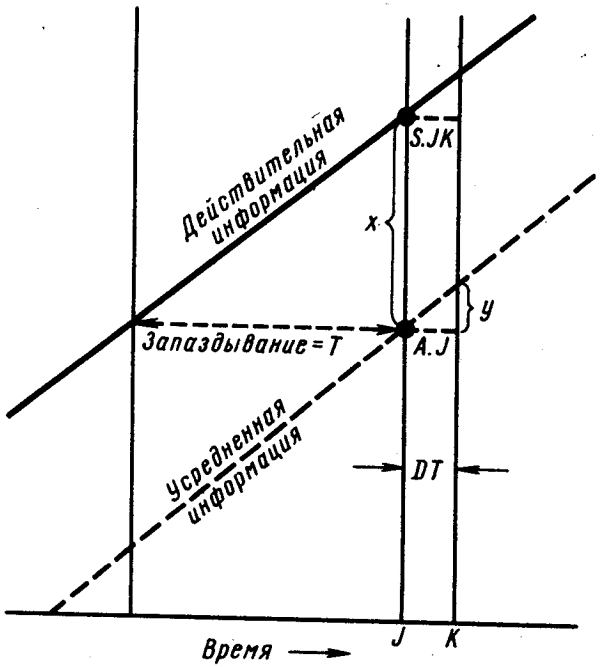


Р и с. B-3. Запаздывание, обусловленное равномерным усреднением.

экспоненциальное запаздывание первого порядка. Постоянная времени выравнивания эквивалентна постоянной запаздывания, которая рассматривалась в главе 8.

Запаздывание, создаваемое выравниванием, может быть представлено графически. На рис. B-3 представлено равномерное усреднение.

Действительные значения рассматриваемой переменной показаны равномерно увеличивающимися. В любой момент времени средняя величина равна значению действительной величины в середине периода усреднения; другими словами, средняя величина равна действительной с запаздыванием в $^1/_2$ интервала усреднения.



Р и с. *B*-4. Запаздывание, обусловленное экспоненциальным усреднением.

На рис. *B*-4 показано запаздывание при экспоненциальном выравнивании для случая равномерно возрастающей переменной. Как видно из графиков, запаздывание должно быть равным постоянной времени T; это можно легко доказать, рассмотрев подобные треугольники:

$$\frac{y}{(DT)} = \frac{x}{T} = \frac{S.JK - A.J}{T},$$

$$y = \frac{(DT)}{T}(S.JK - A.J),$$

где y является изменением среднего значения величины, изображенной на рисунке, и равно правой части уравнения *B*-1, которое так же отражает изменение значения средней величины. Поэтому величина T, отображающая на рисунке запаздывание в получении среднего значения по сравнению с действительным, обязательно должна быть равна по величине постоянной времени в уравнении *B*-1.

Постоянное запаздывание, обусловленное экспоненциальным выравниванием, как это показано на рис. *B*-4, имеет место только в случае линейно изменяющихся входных данных. При нелинейных потоках информации запаздывание, связанное с выравниванием, будет определяться более сложно. Можно показать, что для синусоидально изменяющихся входных данных запаздывание никогда не превышает четверти периода колебания на входе.

При выравнивании поток информации искажается как по амплитуде, так и во времени. Характер искажений зависит от величины изменений, которые вносятся во входную информацию, от используемого типа выравнивания и объема выравнивания, который определяется видом и степенью нежелательных возмущений, существующих в информации. Почти все потоки информации выравниваются либо посредством формальных математических приемов, либо под воздействием психологических суждений, либо с использованием того и другого методов выравнивания, прежде чем они лягут в основу принимаемых решений. Запаздывания и усиления, обусловленные процессом выравнивания, как мы видели в части III, существенно влияют на динамическое поведение системы.

Даже в тех случаях, когда модель проигрывается при отсутствии помех (как это изображено на большинстве рисунков в части III), процессы выравнивания должны быть отражены в модели. Выравнивание, обусловленное присутствием помех, неизбежно проявляется как фильтр, искажающий желаемую информацию. Эти искажения должны быть отражены даже при отсутствии помех, если мы хотим, чтобы система была правильно отображена в модели.

Приложение *C*

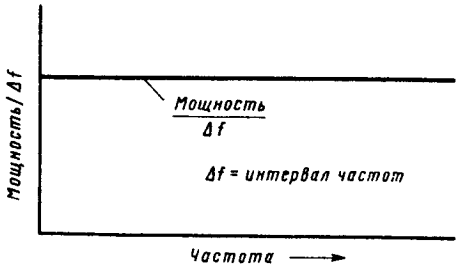
ШУМЫ

При работе с моделями замкнутых информационных систем необходимо четко понимать природу и происхождение шумов. Функции принятия решений, которые мы можем сформулировать, объясняют только главные факторы, влияющие на основные потоки. Многочисленные явления возникают за пределами изучаемой системы. Как отмечалось ранее в приложении *B*, наличие шумов, то есть случайных явлений, требует выравнивания, сглаживания данных, что в свою очередь вызывает запаздывания. Как видно из рис. 13-20 и 15-5, шумы порождают такие возмущения, к которым система чувствительна. Специальное исследование показывает, что шумы ограничивают возможность прогнозирования будущего состояния системы.

В данной книге мы решили начинать построение моделей с рассмотрения непрерывных, свободных от помех потоков информации, решений и действий. После того как изучена динамика системы при отсутствии помех, шумы могут быть введены дополнительно с тем, чтобы показать влияние случайных явлений на поведение системы. Такой порядок изучения отличается от подхода, принятого при рассмотрении стохастических моделей, в которых решения сформулированы так, чтобы создать последовательности отдельных событий, статистическая вероятность свершения которых может определяться состоянием системы. Автор считает, что, изучая вначале систему, свободную от помех, можно легче понять, каким образом основная структура системы определяет ее действия.

Когда мы будем готовы ввести составляющую шума в решения системы, мы должны четко представлять методологию того, как выполнить эту работу. Как следует определять шумы? Какие характеристики шумов интересуют нас? Сигнал шума несет мощность в широкой полосе частот.

Известно множество различных категорий шумов. В физических науках термин «белый шум» применяется для описания непрерывной функции, которая характеризуется равномерным распределением энергии по всему спектру

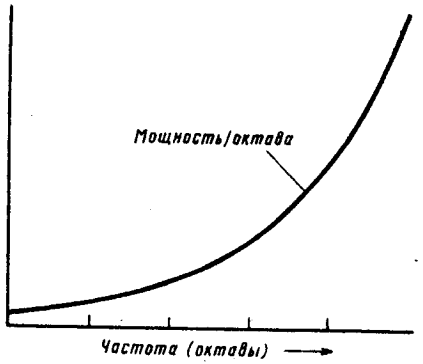


Р и с. *C*-1. Белый шум имеет постоянную величину мощности, отнесенной к интервалу частоты.

частот от нуля до бесконечности, а плотность распределения вероятностей удовлетворяет Гауссову распределению. Белый шум является непрерывным сигналом, имеющим бесконечную мощность источника, и он может иметь мгновенные значения бесконечно большими; значение его в данный момент ничего не говорит о его значении в следующий момент времени даже через бесконечно малый интервал времени.

Говоря о постоянной спектральной плотности, как это имеет место в случае белого шума, мы подразумеваем, что мощность одинакова в любой полосе частот конечной ширины, независимо от того, где эта полоса расположена

(см. рис. *С*-1). Например, в широкополосном электронном генераторе шумов была бы замерена одинаковая мощность после того, как мы пропустили шум через фильтр с полосой пропускания 1 тыс. *гц*, который перекрывал диапазон частот от 1 тыс. *гц* до 2 тыс. *гц*, и после того, как мы пропустили бы шум через фильтр с диапазоном частот от 1111 тыс. *гц* до 1112 тыс. *гц*. Следует отметить, что величина мощности шума в белом шуме определяется шириной полосы пропускания частот, а не отношением нижней границы частоты к верхней. В первом примере верхняя граница частоты полосы пропускания вдвое больше нижней границы. Во втором примере

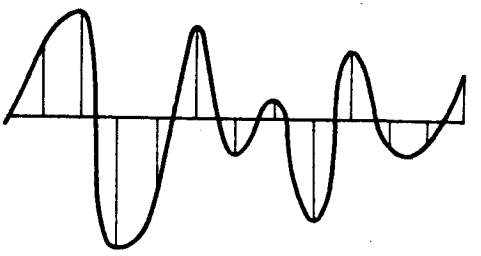


Р и с. *С*-2. Белый шум, показывающий экспоненциальное увеличение мощности, отнесенной к октаве.

эта разница составляет менее 0,1%. Мощность шума одинакова в каждой полосе частот одной и той же абсолютной ширины, но различна в полосах частот, измеряемых в октавах. (Октава представляет полосу частот, у которой верхняя граница вдвое больше нижней частоты.) Для источника белого шума мощность шума на октаву удваивается с каждой более высокой октавой (см. рис. *С*-2). Например, предположим, что 1 единица мощности замерена в октаве, перекрывающей диапазон от 1 тыс. *гц* до 2 тыс. *гц*. Тогда если шум исходит от источника белого шума, то в октаве с 2 млн. *гц* до 4 млн. *гц* будет заключено 2 тыс. единиц мощности.

Белый шум характеризуется определенным распределением значений мощности в некотором диапазоне частот, но оно вовсе не обязательно будет описывать именно тот тип шума, который мы хотим включить в рассмотрение. Мы должны теперь увязать понятия белого шума и мощности шума с задачей использования шумов в моделях социальных систем.

В действительности генератор белого шума создать невозможно, ибо он должен обладать бесконечно большой мощностью и генерировать любые частоты. Однако можно осуществить достаточно близкое приближение к такому генератору, обеспечив генерирование белого шума в определенных диапазонах частот. Одной из точек зрения относительно сигнала шума является его представление в виде ряда



Р и с. *С*-3. Равномерно расположенные случайные числа и непрерывная кривая шума.

дискретных случайных чисел. Эти числа могут быть распределены с равными промежутками времени. Исходя из этого, мы можем рассматривать непрерывный сигнал шума как кривую, соединяющую эти величины (рис. *С*-3). Форма кривой, изображенной на рис. *С*-3, является хорошим приближением к белому шуму вплоть до области частот, периоды которых вдвое больше интервала между дискретными импульсами шума. Другими словами, самая высокая частота, которую следует отразить в кривой, соединяющей серию случайных значений, равномерно распределенных во времени, составляет половину той частоты, с которой появляются сами случайные импульсы (данные).

Ряд равномерно распределенных случайных чисел можно легко использовать в качестве источника шума при работе с моделями социальных систем. Но будет ли этот источник отображать обусловленные принятием решений возмущения, которые мы хотим изучить? Здесь возникает та же проблема, что и при выборе других взаимосвязей в модели и ее параметров. Нас интересуют источники шумов, отражающие характер возмущений, которые, как мы считаем, существуют в действительной системе. Произвольный выбор ряда случайных чисел не дает уверенности в том, что данный метод

удовлетворяет поставленной задаче. Каким должно быть среднее отклонение? Какой должна быть мощность шума в зависимости от распределения частот? Как часто следует производить выборочные замеры шумов. Насколько уязвимы наши суждения в отношении состава шумов?

К счастью, те выводы, которые мы собираемся получить на основе изучения моделей, не очень чувствительны к различным категориям используемых сигналов шума. Однако следует обратить внимание на некоторые общие положения и рекомендации.

Сигнал шума, представленный в виде ряда случайных чисел, как это изображено на рис. *С*-3, близок к полученному от источника белого шума при частотах, меньших частоты импульсов. Такой сигнал имеет одинаковую мощность шума при бесконечно малом приращении частоты, но не на октаву. Зрительно наиболее наглядной является форма кривой, описывающей величину мощности в расчете на октаву. Из рассмотрения рис. *С*-3 мы можем заметить, что мощность шума преобладает при частотах, равных половине частоты импульсов. Мы не видим или не ощущаем низкочастотных составляющих, так как они очень незначительны в единицах мощности на октаву.

Сигнал шума нельзя выбирать как произвольный ряд случайных чисел, поскольку эта процедура позволяет произвольно и полно определить всю спектральную плотность, а она может оказаться непригодной для наших целей. В качестве примера рассмотрим переменную, изменяющуюся по закону случайной функции, представляющую, например, фактор погоды в модели экономической системы или товарного рынка. Допустим далее, что оценку модели следует производить ежедневно. Мы могли бы затем выбирать ежедневно случайные числа, характеризующие количество выпавших осадков. Случайный характер этих данных мог бы потребоваться для воспроизведения суточных изменений возможных осадков. Но этого недостаточно. Случайные данные суточных выпадений осадков должны анализироваться с целью выявления недельных, месячных, годовых и более длительных изменений, поскольку выпадение осадков не является чисто случайным, время от времени происходящим явлением, а имеет определенные закономерности, если речь идет о достаточно продолжительных интервалах времени.

В главах 13—15 использовался простой метод управления мощностью шумов: шумы подавались в систему и поддерживались в течение более длительного интервала, чем интервал решения уравнений. В главе 13 (уравнение 13-79) шумы подавались в модель и поддерживались в течение одной недели; а решение уравнений производилось для каждых 0,05 недели. Допустим, что мы попытались воспроизвести случайные недельные изменения продаж в диапазоне 2 к 1 (но не таких больших размеров, как в главе 13) путем добавления групп случайных чисел, взятых по 20 в группе. Изменения, происходящие из часа в час и изо дня в день, могли бы оказаться нереально большими, иногда даже вызывающими аннулирование числа заказов, превышающего располагаемое, с тем чтобы сделать долговременные изменения достаточно большими.

Когда мы говорим о характере сигнала помех, то особенно важен вопрос частотной избирательности системы. На рис. 15-5 показан сигнал случайной функции, который подается и поддерживается в течение 5 недель. В данном примере самое большое содержание мощности в величинах мощности на октаву приходится на диапазон самых высоких частот, отображенных на рисунке. Это диапазон, составляющий 10 недель, то есть частота равна около 5 периодам в год. Однако эта высокочастотная мощность почти полностью поглощается выравниванием и запаздыванием в системе. Система в целом реагирует на гораздо меньшую энергию шума, отображающего период в два года (или половину цикла за год). Это тот диапазон частот, в котором система обладает усилительными свойствами и амплитуды на выходе превышают амплитуды сигнала шумов на входе.

Следует отметить, что выравнивание подавляет высокие частоты источника шумов, но пропускает низкие частоты. Эти низкие частоты являются составляющими шума, которые автокоррелируют на протяжении длительных периодов времени.

При оценке переменных, несущих шумы, мы должны проявлять осторожность и различать низкочастотные возмущения, возникающие вне системы (собственно шумы), от внутренне присущих ей частот. По-видимому, невозможно определить путем наблюдения, в какой мере низкочастотные случайные колебания привносятся внешним возмущением, а какая их часть обусловлена вводом, усиленным внутри системы. Мы обычно будем полагаться на наши знания деталей структуры системы при определении чувствительности мо-

дели к различным частотам и после этого найдем (как это было сделано в главе 12) такой сигнал помех, который даст амплитуды, наблюдаемые в рассматриваемой системе. Только в тех случаях, когда требуемые сигналы шума оказываются нереально большими, объективные знания природы шумов в реальной системе могут оказаться полезными при определении эффективности модели.

Использование шумов в динамических моделях требует глубокого и детального изучения. В данном приложении отмечены только некоторые важные положения.

ЗАПАЗДЫВАНИЯ

Ниже рассматриваются два связанных с запаздываниями вопроса, которые не были освещены ранее.

D. 1. Сопоставление информационного и «материального» запаздываний

Необходимо различать запаздывания в потоках информации и запаздывания в потоках конкретных физических величин. В предыдущих разделах уравнения запаздываний были использованы для определения запаздываний при транспортировке материалов и заказов. Выравнивающие уравнения использовались для отображения запаздываний в потоках информации. Как отмечалось в приложении *B*, их динамическое поведение аналогично. Тем не менее имеется некоторое различие между ними: они, в частности, ведут себя различно в том случае, когда постоянная запаздывания перестает быть постоянной и начинает изменяться.

«Материальное» запаздывание не должно создавать или поглощать содержимое проходящего через него потока. Это означает, что в «материальном» запаздывании с постоянным темпом входящего потока исходящий поток будет изменяться при изменении постоянной времени запаздывания. Очевидно, что выход будет отличаться от входа в течение достаточно длительного времени, необходимого для создания внутреннего уровня в запаздывании, которое подвергается регулированию.

Следующие уравнения представляют экспоненциальное запаздывание первого порядка с переменной величиной запаздывания:

$$LEV.K = LEV.J + (DT)(IN.JK - OUT.JK), \qquad D\text{-}1,\ L$$

$$OUT.KL = \frac{LEV.K}{DEL.K}, \qquad D\text{-}2,R$$

где

LEV — уровень, накопленный в запаздывании (единицы);
DT — интервал решения уравнения (время);
IN — темп входящего потока (единицы/время);
OUT — темп исходящего потока (единицы/время);
DEL — запаздывание, переменное (время).

Уравнение *D*-1 аккумулирует разницу между входящим и исходящим потоками. В уравнении *D*-2 темп исходящего потока определяется на основании уровня, полученного в предшествующем уравнении. При постоянном темпе входящего потока и установившихся условиях уровень равнялся бы произведению темпа входящего потока на запаздывание. Если теперь уменьшить запаздывание на половину от его первоначального значения, то объем уровня должен обязательно снизиться, даже при условии, что темп входящего потока остался бы неизменным. Это требует, чтобы темп исходящего потока в течение некоторого промежутка времени превышал темп потока входящего.

С другой стороны, значения величин в информационном потоке не должны изменяться только потому, что изменились запаздывания в передаче информации. Эти неустановившиеся независимые изменения в запаздываниях могут быть оценены с помощью следующего выравнивающего уравнения:

$$INS.K = INS.J + \frac{DT}{DEL.K} \times \times (IN.JK - INS.J), \qquad D\text{-}3,\ L$$

где

INS — выравненный ввод (в единицах измерения входящей величины);
DT — интервал решения уравнения (время);
DEL — запаздывание, переменное (время);

IN — входящая информация (в собственных единицах измерения).

В установившихся условиях, когда темп входящего потока *IN* постоянен, выравненная величина *INS* будет иметь то же самое значение, при этом разность, определяемая членом в круглых скобках в правой части уравнения *D*-3, будет равна нулю. Таким образом, запаздывание *DEL* может измениться, не оказав влияния на изменения величины выравненного потока на выходе. Это справедливо, и этого следовало ожидать при передаче информации. Более того, в уравнении *D*-3 сохраняются неизменными и единицы измерения величин от входа до выравненной величины на выходе, в то время как в уравнении *D*-2 содержимое исходящего из материального запаздывания потока измеряется в тех же единицах, что и содержимое входа, умноженных на единицы времени. Это оказывается неудобным и бессмысленным, когда речь идет о каналах информации.

Для отображения запаздывания в передаче физических величин следует использовать уравнения запаздывания, аналогичные, например, уравнениям *D*-1 и *D*-2 или приведенным в главе 8. Для отображения запаздывания в потоках информации следует использовать рассмотренные в приложении *B* уравнения выравнивания и уравнения типа *D*-3.

D. 2. Альтернативные уравнения для экспоненциальных запаздываний

Разностные уравнения типа *D*-1 и *D*-2 могут быть записаны в различных формах. Форма записи, данная в разделе *D*-1, несколько неудобна, поскольку она требует суммирования двух количеств *LEV* и *OUT* при переходе от одного момента времени к следующему. В принципе, при таком переходе экспоненциальное запаздывание первого порядка должно бы требовать определения только одной числовой величины.

Для отображения экспоненциального запаздывания третьего порядка разработанная нами программа-компилятор использует одно уравнение для каждой ступени запаздывания первого порядка, которое может быть получено исходя из следующих соображений. Запишем уравнение *D*-2 для периода времени, предшествующего данному моменту времени *K*, при постоянном запаздывании:

$$OUT.JK = \frac{LEV.J}{DEL}$$

или

$$LEV.J = (DEL)(OUT.JK).$$

Подставив полученное выражение в уравнение *D*-1 и затем в *D*-2, после преобразований получим следующее уравнение:

$$OUT.KL = OUT.JK + \frac{DT}{DEL}(IN.JK - OUT.JK).$$

Это уравнение имеет ту же форму, что и уравнение выравнивания, за исключением того, что оно определяет новую величину темпа исходящего потока на основании нового значения темпа входящего потока и прежнего значения темпа потока на выходе. Три уравнения такого вида определяют экспоненциальное запаздывание третьего порядка. Исходящий поток, согласно первому уравнению, определяет переменную, которая является вводом для второго уравнения, а определенная по этому уравнению исходящая величина становится вводом для третьего уравнения. Исходящий поток, определяемый третьим уравнением, является исходящим потоком запаздывания в целом. В этом случае каждое звено содержит $^1/_3$ общего запаздывания.

Приложение *E*

ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИИ

Информация представляет собой основу, на базе которой принимаются решения. Общеизвестно, что качество сырья в известной мере определяет качество выпускаемой продукции. Руководитель хорошо знает, что источники информации играют важную роль. Но знает ли он меру качества информации?

Источники информации, подобно источникам других потоков в промышленной системе, подвержены влиянию возмущающих воздействий. Искажение может произойти как по амплитуде, так и во времени, причем степень искажения будет зависеть от характера изменения информации во времени.

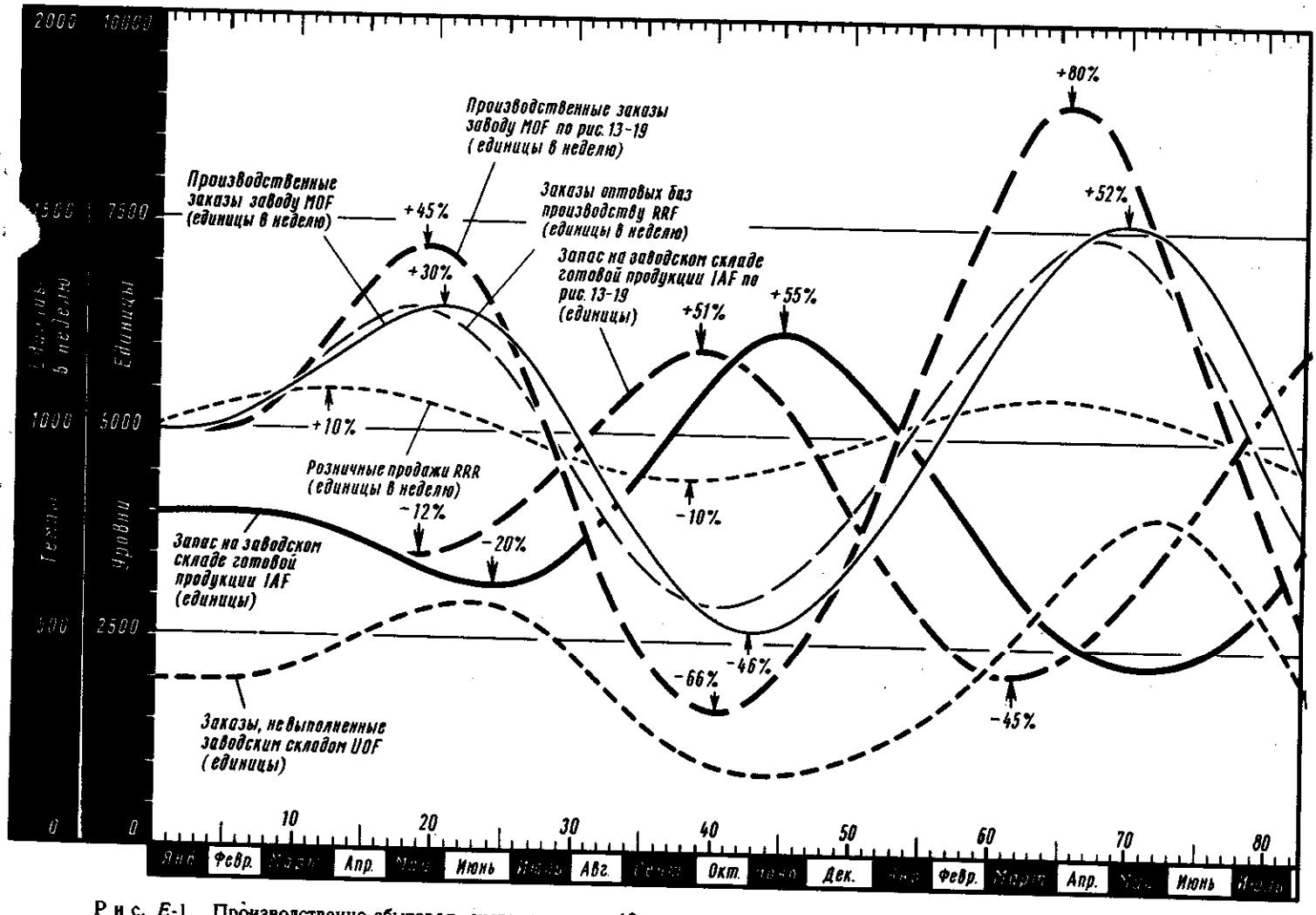
Руководитель заинтересован в получении наиболее полезной информации, на основании которой он формулирует решения. Совершенствование в этой области может быть достигнуто как за счет улучшения уже существующих источников информации, так и путем поисков новых источников информации, отличных от использовавшихся ранее.

Стоимость получения лучшей информации обычно можно определить достаточно точно. Но как определить ценность эффекта от лучшей информации? На этот вопрос не так-то легко ответить. Лучшая информация может быть оценена той величиной, которой мы будем оценивать улучшения в промышленной системе, связанные с получением лучшей информации. Если мы не можем определить изменений в поведении системы, обусловленных изменениями в потоках информации, то тем самым мы не можем и оценить эти изменения информации.

Ценность информации обычно определяется с помощью весьма субъективных показателей, которые обязательно включают оценку влияния данной информации на динамическое поведение системы. Наши возможности в оценке характеристик замкнутых информационных систем невелики. Следует отметить, что вопросы оценки информационных источников в денежном выражении до сих пор разработаны очень слабо.

Соединенные Штаты имеют хорошо развитые средства вычислительной техники для обработки информации. Опыт их использования подтверждает, что хорошая информация означает хорошее руководство. Стоимость обработки потоков деловой информации на вычислительных машинах обычно соизмерима с затратами, имевшими место при использовании ранее существовавших методов обработки. В связи с отсутствием реальных объективных мер ценности информации сопоставление стоимости информации и ее ценности почти никогда не производится.

Я считаю, основываясь на опыте работы промышленных предприятий, что определенная часть из наиболее важной и полезной информации остается незамеченной и неиспользованной. В то же время затрачиваются огромные усилия на получение дополнительной информации, которая — даже если она будет получена,— не принесет сколь-нибудь значительной пользы. Например, некоторые предприятия добились ускорения потока информации о продажах продукции и стали составлять производственный график с учетом этой информации таким образом, что случайные изменения в конъюнктуре рынка стали непосредственно воздействовать на производственный процесс. Это привело к игнорированию правильного использования материальных запасов, предназначенных для компенсации этих изменений. Продолжение усилий в этом направлении в пределе может привести к тому, что исполь-



Р и с. *Е*-1. Производственно-сбытовая система главы 13 при наличии на заводе информации о розничных продажах.

зование безынерционной информации будет иметь опасные последствия, а руководитель будет вынужден все в большей степени уделять внимание только текущим решениям. Улучшения в работе системы, которые рассматривались в главе 15, были обусловлены не столько изменениями вида информации или ее качества, сколько изменениями используемых источников информации и характера принимаемых на основании этой информации решений. Модель системы может быть использована для изучения влияния изменения потоков информации на работу системы. Чтобы это выполнить, необходимо иметь твердую гипотезу, определяющую, каким образом информация влияет на решения. Она должна была бы явиться первой проверкой для большей части информации, возникающей в промышленных системах. Но в большинстве случаев почти невозможно сформулировать гипотезу о том, как информация влияет на деловую активность. Бессилие в использовании информационного источника приводит к мысли, что этот источник бесполезен. Предполагая наличие новых и, по-видимому, более хороших источников информации, при построении модели системы мы должны определить, как этот поток информации повлияет на потоки решений.

Основываясь на изученной в главе 13 производственно-сбытовой системе, рассмотрим для иллюстрации один пример. Иногда высказывается предположение, что проблемы планиро-

вания производства не существовало бы, если мы располагали бы всеобъемлющими знаниями о состоянии розничных продаж. В модели главы 13 мы можем предположить, что розничные продажи соответствуют уровню производства.

На рис. *E*-1 отображено поведение такой измененной системы. Здесь предполагается, что средняя величина розничных продаж становится немедленно известной на предприятии и сразу отражается в производственных решениях. (Точные изменения в уравнениях системы приводятся ниже.)

В данном случае вес, или значимость, придаваемая информации о розничных продажах, будет в 5 раз больше, чем вес, придаваемый заказам, которые поступают на предприятие от оптовых баз. Это отображает очень высокую значимость, придаваемую данным о розничных продажах. В результате такого изменения системы имеет место определенное улучшение, однако в меньшей степени, чем ожидалось. Колебания в производственных заказах стали в 5 раз больше колебаний в розничных продажах по сравнению с 8-кратными колебаниями, изображенными на рис. 13-19. Изменение в производственных решениях вызвало некоторое смещение кривой запасов. Увеличение скорости возрастания запасов все же вызывает застой в производстве, даже несмотря на то, что желаемый запас теперь определяется скорее информацией о розничных продажах, чем информацией о поступающих на предприятия заказах.

Вопрос о том, в какой мере следует считаться с информацией о розничных продажах, станет ясным, если мы рассмотрим условия, складывающиеся между 30 и 35-й неделями. Задания производству по-прежнему завышены по сравнению с объемом поступающих на предприятие заказов, вследствие быстро уменьшающегося числа поступающих заказов. Портфель невыполненных заказов сокращается, а запасы резко возрастают. Здесь возникают условия, при которых информация, которая имеется непосредственно на предприятии, противоречит располагаемой информации о розничных продажах. Когда руководитель предприятия имеет дело с уменьшением заказов, увеличением запасов и сокращением портфеля невыполненных заказов, он должен иметь смелость и мужество, чтобы поддерживать темп производства на более высоком уровне, чем это обусловливается информацией, имеющейся в его распоряжении.

Руководитель предприятия должен предусмотреть как требуемый объем капиталовложений, так и соответствующую емкость складов для изменяющихся запасов. Имеющаяся информация о состоянии розничных продаж ни в коей мере не определяет правил ведения складского хозяйства в системе. Детальное изучение такой системы может привести к выводу, что изыскать способы улучшения динамических характеристик системы можно не с помощью увеличенного объема располагаемой на предприятии информации, а скорее путем изменений правил управления системой сбыта.

Чтобы получить кривые, представленные на рис. *E*-1, были сделаны следующие изменения в уравнениях главы 13. Уравнения 13-43, 13-45, 13-47, 13-49 были заменены нижеследующими:

$$IDF.K=(AIF)(WAS.K), \qquad E\text{-}1,\ A$$

$$MWF.K=\frac{1}{1+CRWF}[RRF.JK+$$
$$+(CRWF)(RSR.K)]+$$
$$+\frac{1}{DIF}(IDF.K-IAF.K+LDF.K-$$
$$-LAF.K+UOF.K-UNF.K), \qquad E\text{-}2,\ A$$

$$LDF.K=(WAS.K)(DCF+DPF), \qquad E\text{-}3,\ A$$

$$UNF.K=(WAS.K)(DHF+DUF), \qquad E\text{-}4,\ A$$

$$WAS.K=\frac{1}{1+CRWF}\times$$
$$\times[RSF.K+(CRWF)(RSR.K)], \qquad E\text{-}5,\ A$$

где

IDF — желательный запас на заводе (единицы);

AIF — коэффициент запасов на заводе (недели);

WAS — усреднённые продажи в розничном звене и на заводе (единицы в неделю);

MWF — требуемые темпы производства на заводе (единицы в неделю);

CRWF — константа, безразмерное отношение розничных и заводских продаж;

RRF — требования (заказы), получаемые на заводе (единицы в неделю);

RSR — выравненные требования (заказы) в розничном звене (единицы в неделю);

DIF — запаздывание регулирования запасов (и каналов снабжения) на заводе (недели);

IAF — действительный запас на заводе (единицы);

LDF — желательный объем заказов, движущихся внутри завода (единицы);

LAF — действительный объем заказов, движущихся внутри завода (единицы);

UOF — невыполненные заказы на заводе (единицы);

UNF — нормальный объем невыполненных заказов на заводе (единицы);

DCF — запаздывание оформления производственных заказов на заводе (недели);

DPF — запаздывание в запуске изделий в производство на заводе (недели);

DHF — запаздывание, связанное с минимальным временем, которое необходимо для изготовления изделий (недели).

DUF — среднее запаздывание выполнения заказов на заводе из-за отсутствия необходимых изделий на складе при нормальном общем запасе (недели);

RSF — требования (заказы), выравненные на заводе (единицы в неделю).

В уравнении *E*-5 величина средних продаж *WAS* заменяет выравненные продажи предприятия *RSF*, величина которых использовалась ранее. Такая замена увеличивает вес среднего значения розничных продаж в *CRWF* раз по сравнению со значением выравненного потока заказов на предприятии. Для построения графиков рис. *E*-1 было принято значение *CRWF*, равное 5.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Drucker Peter F., Thinking Ahead: Potentials of Management Science, *Harvard Business Review*, Vol. 37, № 1, pp. 25—30, 146—150 (January—February 1959).

2. Porter A., An Introduction to Servomechanisms, Methuen & Co., London and John Wiley & Sons, New York, 1950.

3. MacMillan R. H., An Introduction to the Theory of Control in Mechanical Engineering, The University Press, Cambridge, 1951.

4 Brown Gordon S. and Campbell Donald P., Principles of Servomechanisms, John Wiley & Sons, New York, 1948.

5. Jury Eliahu I., Sampled-Data Control Systems, John Wiley & Sons, New York, 1958.

Ragazzini John R. and Franklin Gene F., Sampled-Data Control Systems, McGraw-Hill Book Company, New York, 1958.
Seifert William W. and Steeg Carl W. Jr., Editors, Control Systems Engineering, McGraw-Hill Book Company, New York, 1960.

6. Tustin Arnold, The Mechanism of Economic Systems, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1953.

7. Leavitt Harold J. and Whisler Thomas L., Management in the 1980's, *Harvard Business Review*, Vol. 36, № 6, pp. 41—48 (November-December 1958).

8. Kovach Ladis D., Life Can Be So Nonlinear, *American Scientist*, Vol. 48, № 2, pp. 218—225 (June 1960), published by the Society of the Sigma Xi.

9. Klein Lawrence R., Economic Fluctuations in the United States 1921—1941, Cowles Commission Monograph № 11, John Wiley & Sons, New York, 1950.

10. Koopmans Tjalling C., Editor, Statistical Inference in Dynamic Economic Models, Cowles Commission Monograph № 10, John Wiley & Sons, New York, 1950. Third Printing, July 1958.

11. Churchman C. West, Theory of Experimental Inference, The Macmillan Company, New York, 1948.

12. Vidale M. L. and Wolfe H. B., An Operations-Research Study of Sales Response to Advertising, *Operations Research*, Vol. 5, № 3, pp. 370—381 (June 1957).

13. Ballmer Ray W., Sloan Fellow at M. I. T., 1959—1960, from the Kennecott Copper Corporation, S. M. Thesis, School of Industrial Management, Copper Market Fluctuations: An Industrial Dynamics Study, 1960, i—ix plus 125 pages.
Fey Willard R., The Stability and Transient Response of Industrial Organizations, S. M. Thesis, Department of Electrical Engineering, 1961, M.I.T., 8 unnumbered front pages, 132 pages plus appendix of 22 pages.
Hurford Walter J., Sloan Fellow at M.I.T., 1959—60, from the Westinghouse Electric Corporation, S. M. Thesis, School of Industrial Management, Application of Industrial Dynamics to the Growth of the Fuel Manufacturing Industry for Nuclear Thermal Electric Power Plants, 1960, i—vii plus 123 pages.
Katz Abraham, Sloan Fellow at M.I.T., 1957—58, from the Radio Corporation of America, S. M. Thesis, School of Industrial Management, An Operations Analysis of an Electronic Systems Firm, 1958, 7 front plus 109 pages.
Kinsley Edward R., Sloan Fellow at M.I.T., 1958—59, from the Texas Instruments Company, S. M. Thesis, School of Industrial Management, The Managerial Use of Industrial Dynamics as Illustrated by a Company Growth Model, 1959, i—vii plus 180 pages.
Raff Alfred I., Dynamics of the Tankship Industry, S. M. Thesis, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, M.I.T., 1960, 5 unnumbered front pages and 100 pages.
Schlager Kenneth J., Sloan Fellow at M.I.T., 1960—61, from the AC Spark Plug Division of General Motors Corporation, S. M. Thesis, School of Industrial Management, Systems Analysis of the Copper and Aluminum Industries: An Industrial Dynamics Study, 1961, i—vii plus 264 pages.
Walter Franklin, Sloan Fellow at M.I.T., 1958—59 from the Chrysler Corporation, S. M. Thesis, School of Industrial Management, An Analysis Relating Lead Time and Market Penetration in the Auto Industry, 1959, i—vii plus 125 pages.

14. Robinson Dwight E., «Fashion Theory and Product Design», *Harvard Business Review*, Vol. 36, № 6, pp. 126—138 (November-December 1958).

15. Katz Abraham, An Industrial Dynamic Approach to the Management of Research and Development, *IRE Transactions on Engineering Management*, Vol. EM-6, № 3, pp. 75—80 (September 1959), Institute of Radio Engineers, New York.

16. Brown Robert G., Statistical Forecasting for Inventory Control, McGraw-Hill Book Company, New York, 1959.

17. Winters Peter R., Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages», *Management Science*, Vol. 6, № 3, pp. 324—342 (April 1960).

18. Zannetos Zenon S., The Theory of Oil Tankship Rates, Ph. D. Thesis, Department of Economics

and Social Science, Massachusetts Institute of Technology, September 1959, 12 unumbered front pages plus 299 pages.

19. Pierson Frank C. and others, The Education of American Businessmen, The Carnegie Series in American Education, McGraw-Hill Book Company, New York, 1959.

20. Gordon Robert Aaron and Howell James Edwin, Higher Education for Business, Columbia University Press, New York, 1959.

21. Forrester Jay W., Industrial Dynamics—A Major Breakthrough for Decision Makers, *Harvard Business Review*, Vol. 36, № 4, pp. 37—66 (July-August 1958).

22. Pugh Alexander L., III, DYNAMO User's Manual, The M.I.T., Press, Cambridge, Mass., 1961. Available through The Technology Store, 40 Massachusetts Avenue, Cambridge, Mass.

23. Laning J. Halcombe Jr. and Battin Richard H., Random Processes in Automatic Control, McGraw-Hill Book Company, New York, 1956.

24. Davenport Wilbur B. Jr. and Root William L., An Introduction to the Theory of Random Signals and Noise, McGraw-Hill Book Company, New York, 1958.

25. Phillips A. W., Stabilisation Policy and the Time-Forms of Lagged Responses, *Economic Journal* (London), Vol. 67, № 266, pp. 265—277 (June 1957).

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 5

Часть I

Глава 1. ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ 17

1. 1. Теория управления информационной системой с обратной связью . . 18
1. 2. Процессы принятия решений 21
1. 3. Экспериментальный подход к анализу систем 21
1. 4. Цифровые электронно-вычислительные машины 22

Глава 2. ПРИМЕР ПРОИЗВОДСТВЕННО-СБЫТОВОЙ СИСТЕМЫ 24

2. 1. Подход к задаче 24
2. 2. Необходимая информация 25
2. 3. Метод имитации 26
2. 4. Испытание системы 26

Часть II

Глава 3. МОДЕЛИ 39

3. 1. Классификация моделей 39
3. 2. Модели в естественных науках, технике и общественных науках . . . 42
3. 3. Модели для контрольных опытов 45
3. 4. Механизация модели 45
3. 5. Область применения моделей 45
3. 6. Задачи применения математических моделей 46
3. 7. Источники информации для построения модели 46

Глава 4. ПРИНЦИПЫ ФОРМУЛИРОВКИ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ 50

4. 1. Что включать в модель! 50
4. 2. Информация в моделях с обратной связью 51
4. 3. Соответствие между переменными в модели и реальной системе . . . 53
4. 4. Единицы измерения в уравнениях 54
4. 5. Непрерывные потоки 54
4. 6. Устойчивость и линейность 56

Глава 5. СТРУКТУРА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ 57

5. 1. Базовая структура 57
5. 2. Шесть взаимосвязанных сетей 59

Глава 6. СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ 62

6. 1. Последовательность вычислений 62
6. 2. Символы, используемые в уравнениях 64
6. 3. Обозначение времени в уравнениях 64
6. 4. Классы уравнений 64
6. 5. Интервал решений 68
6. 6. Избыточность информации, заключенной в обозначениях типа уравнения и времени 69
6. 7. Интегрирование уравнений первого порядка вместо интегрирования уравнений более высокого порядка 69
6. 8. Определение всех переменных 69

Глава 7. СИМВОЛЫ В ДИАГРАММАХ ПОТОКОВ 70

7. 1. Уровни 70
7. 2. Потоки 71
7. 3. Функции решений (уравнения темпов) 71
7. 4. Истоки потоков и их конечные пункты 71
7. 5. Отбор информации 72
7. 6. Вспомогательные переменные 72

7. 7. Параметры (константы) . . . 72
7. 8. Переменные на других диаграммах . . . 72
7. 9. Запаздывания . . . 73

Глава 8. ИЗОБРАЖЕНИЕ ЗАПАЗДЫВАНИЙ . . . 75

8. 1. Структура запаздываний . . . 75
8. 2. Характеристики запаздываний . . . 76
8. 3. Показательные запаздывания . . . 76
8. 4. Реакция показательных запаздываний . . . 78

Глава 9. ПРАВИЛА И РЕШЕНИЯ . . . 82

9. 1. Сущность процесса принятия решений . . . 83
9. 2. Правила . . . 85
9. 3. Выявление руководящих правил . . . 86
9. 4. Явные и неявные решения . . . 90
9. 5. Вводы в функции решений . . . 91
9. 6. Определение формы функций решения . . . 92
9. 7. Помехи в функциях решения . . . 96

Глава 10. АГРЕГИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ . . . 97

10. 1. Использование отдельных событий для формирования агрегированного потока . . . 97
10. 2. Агрегирование на основе подобия функций решений . . . 98
10. 3. Влияние агрегирования на время запаздывания . . . 98

Глава 11. ЭКЗОГЕННЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ . . . 100

Глава 12. ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ МОДЕЛИ . . . 103

12. 1. Назначение моделей . . . 103
12. 2. Важность конкретных целей . . . 103
12. 3. Прогнозирование результатов вносимых изменений . . . 104
12. 4. Структура и элементы модели . . . 105
12. 5. Динамические характеристики системы . . . 107
12. 6. Модель проектируемой системы . . . 109
12. 7. Замечания об испытании модели . . . 110

Часть III

Глава 13. МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННО-СБЫТОВОЙ СИСТЕМЫ, ОПИСАННОЙ В ГЛАВЕ 2 . . . 119

13. 1. Цели . . . 119
13. 2. Круг рассматриваемых вопросов . . . 120
13. 3. Факторы, которые должны быть включены в модель . . . 121
13. 4. Основа для составления уравнений . . . 122
13. 5. Уравнения системы . . . 123
13. 6. Общие принципы выбора рациональных значений параметров . . . 153
13. 7. Экспериментальные проигрывания модели . . . 154

Глава 14. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧЕЙ СИЛЫ . . . 170

14. 1. Общее описание . . . 170
14. 2. Основные звенья системы . . . 172
14. 3. Факторы, включаемые в модель . . . 173
14. 4. Уравнения, описывающие систему . . . 176
14. 5. Вспомогательная выходная информация . . . 208
14. 6. Проверочные функции на входе . . . 210

Глава 15. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧЕЙ СИЛЫ (продолжение) . . . 213

15. 1. Старая система . . . 213
15. 2. Изменения параметров прежней системы . . . 224
15. 3. Новые руководящие правила . . . 233
15. 4. Результаты применения новых руководящих правил . . . 241
15. 5. Улучшения в системе с новыми руководящими правилами . . . 245
15. 6. Характеристики новой системы . . . 249
15. 7. Воздействие сильных возмущений на новую систему . . . 255
15. 8. Заключение . . . 264

Часть IV.

Глава 16. РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ 267

16. 1. Динамика рынка 267
16. 2. Рост продукции 273
16. 3. Товары 277
16. 4. Управление исследованиями и усовершенствованиями 280
16. 5. Структура высшего руководства 284
16. 6. Денежные средства и бухгалтерский учет 289
16. 7. Конкуренция 290
16. 8. Учет будущего при принятии решений 291
16. 9. Модели промышленных отраслей 293

Глава 17. ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА РУКОВОДЯЩИХ КАДРОВ 297

17. 1. Динамическая модель как целостная структура 297
17. 2. Структурные принципы системы 299
17. 3. Учебные программы 301
17. 4. Люди 304
17. 5. Управленческие игры 307
17. 6. Исследования в области управления 309

Глава 18. ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КАДРЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ 311

ПРИЛОЖЕНИЯ 315

Приложение A. Интервал решения уравнений 317
Приложение B. Выравнивание информации 321
Приложение C. Шумы 326
Приложение *Д*. Запаздывания 330
Приложение *E*. Оценка информации 332
Библиография 339

Редакторы *Г. В. Полунина, А. И. Латышев*
Художник *Р. А. Аллахвердян*. Художественный редактор *Л. Ф. Шканов*
Технический редактор *В. П. Шиц*

Сдано в производство 5.VIII. 1968 г. Подписано к печати 28.II.1969 г.
Бумага 84×108$^{1}/_{16}$ бум. л. 10$^{5}/_{8}$ 35,7 печ. л. Уч.-изд. л. 36,52. Изд. № 8/2191.
Цена 2 р. 84 коп. Зак. 3041.

Издательство «Прогресс»
Комитета по печати при Совете Министров СССР. Москва, Г-21, Зубовский бульвар, 21

Набор сделан в Ордена Трудового Красного Знамени Первой Образцовой типографии имени А. А. Жданова Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР
Отпечатано в Пятой типографии Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР
Москва. Мало-Московская, 21