

Н. И. ВЕДУТА

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ
КИБЕРНЕТИКА**

МИНСК · 1971

АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛОРУССКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ

Н. И. ВЕДУТА

Экономическая кибернетика

Очерки по вопросам теории

ИЗДАТЕЛЬСТВО „НАУКА И ТЕХНИКА“
МИНСК · 1971

33c
B 26

1-8-5
25-70

ВВЕДЕНИЕ

«Возраст» кибернетики как самостоятельной науки едва перевалил за 20 лет. Ее возникновение связывается с выходом в свет в 1948 г. в Нью-Йорке книги американского математика Норберта Винера «Кибернетика». В ней впервые четко высказано мнение о единстве принципов управления в технике, природе и обществе. Появление и последующее триумфальное шествие кибернетики определилось потребностями принципиально нового подхода к решению проблем управления в условиях стремительных темпов технического прогресса, использования ядерной энергии, освоения космического пространства, создания электронной вычислительной техники, колоссального роста производства в целом.

Развитие электронной вычислительной техники позволило начать постепенный переход от автоматизации управления техническими системами и технологическими процессами к автоматизации решения задач управления производственными подразделениями.

До этого вторжения кибернетики в область экономики экономические проблемы решались только людьми, а их техническое вооружение оставалось в тени, хотя без него уже давно стали невозможными многие области экономической работы. Поэтому вторжение электронной вычислительной техники в сферу управления экономикой не сразу было воспринято как объективная необходимость.

Социалистическое обобществление средств производства, обеспечившее сознательное, целеустремленное, планомерное развитие государственной экономики, сопровождалось крупнейшими социальными преобразованиями, основанными на марксистской теории научного коммунизма, а не на технике управления. Это создавало впечатление, что кибернетика якобы вступила в противо-

речие с марксизмом и стала отодвигать его на задний план.

Главное в марксизме — учение о законах развития человеческого общества вообще, о законах возникновения, развития и гибели капиталистического способа производства, о замене его новым, более прогрессивным общественным строем в частности. Правильность теории научного коммунизма полностью подтверждена почти вековой историей.

Обобществление средств производства, указывал Ф. Энгельс, устраняет товарное производство и «господство продукта над производителями. Анархия внутри общественного производства заменяется планомерной, сознательной организацией» (1, т. 20, стр. 294). Человек получает возможность строить общественную организацию производства.

Эти построения должны отражать объективные потребности общества и наилучшим образом содействовать его развитию. Следовательно, они должны учитывать реальную обстановку, или, как говорят кибернетики, исходное состояние системы; цель движения, или конечное состояние системы; наилучший путь достижения цели, или оптимальную траекторию перехода системы из одного состояния в другое. Траектория движения к цели в управлении производством выражается системой плановых заданий.

Однозначно определяется здесь только реальная обстановка и то не всегда достаточно полно и точно.

Цель и средства движения представляют собой множества, притом не всегда реальные, а из реальных — не все равноценные. Выбор наилучших из них без кибернетики носит субъективный характер.

Субъективные построения в дальнейшем воспринимаются как объективные, исходные в решении многих практических вопросов современности без надлежащего анализа соответствия исходных построений требованиям объективных законов. Это накладывает отпечаток субъективизма на результаты наших исследований, что, правда, не исключает в ряде случаев их значительной полезности, так как субъективные построения обязательно влекут за собой определенные объективные последствия.

Вместе с тем законы развития человеческого общества остаются объективными и наши субъективные постро-

ения могут лишь способствовать или противодействовать объективному процессу. В предисловии к «Капиталу» К. Маркс писал: «Общество, если даже оно напало на след естественного закона своего развития, — а конечной целью моего сочинения является открытие экономического закона движения современного общества, — не может ни перескочить через естественные фазы развития, ни отменить последние декретами. Но оно может сократить и смягчить муки родов.

...Я смотрю на развитие экономической общественной формации как на естественноисторический процесс; поэтому с моей точки зрения, меньше чем с какой бы то ни было другой, отдельное лицо можно считать ответственным за те условия, продуктом которых в социальном смысле оно остается, как бы ни возвышалось оно над ними субъективно» (1, т. 23, стр. 10).

К. Маркс был свободен в своих исследованиях от субъективных построений наших дней, вследствие чего многие закономерности перехода к коммунистическому обществу объяснены им не хуже, чем в ряде случаев это делается сейчас некоторыми нашими современниками. Поэтому, решая вопросы современности, необходимо постоянно обращаться к учению К. Маркса.

Кибернетику, ее категории и понятия также следует рассматривать в свете учения К. Маркса, тем более что она все глубже проникает в экономику и оказывает все большее влияние на развитие общества.

Возможность планового управления общественным производством при социализме послужила основой ошибочного мнения, что общество все может сделать, не считаясь с объективными законами. В связи с необходимостью преодоления такого волюнтаризма специальный раздел политэкономии социализма посвящен объективному характеру экономических законов.

Однако объективный характер экономических законов отождествляется подчас с объективным характером течения процессов. Вследствие этого иногда создается впечатление, что задача социалистического общества только тем и ограничивается, чтобы познать ход общественного развития, сообразовать с ним свои планы, действия и т. д. Полемизируя, в частности, с академиком Н. П. Федоренко по теоретическим проблемам оптимального функционирования социалистической экономики, А. Ере-

миш и Л. Никифоров пишут: «...Хозяйственное поведение можно понять лишь исходя из объективного механизма функционирования хозяйства...» (13, 1969, № 6, стр. 118).

Между тем хозяйственное поведение нужно определять, а не объяснять. Механизм же функционирования социалистического хозяйства — это продукт сознательно-го построения, целеустремленной деятельности общества. После социалистического обобществления средств производства любое дальнейшее преобразование в обществе является продуктом сознательной человеческой деятельности, носит отпечаток субъективного, способствует или мешает построению коммунистического общества.

Независимо от чьей бы то ни было воли или сознания историческое развитие объективно движется к коммунизму, используя все полезные и преодолевая все вредные субъективные построения. Полезные построения ускоряют движение, вредные тормозят его. Это значит, что в зависимости от характера использования возможностей управления общественным производством можно ускорить общественное развитие по сравнению со стихийным процессом или замедлить его (если возможности управления используются плохо). Поэтому для успешного построения коммунистического общества наука об управлении производством имеет огромное значение.

Вторжение электронной вычислительной техники в экономику стало возможным благодаря высокому уровню развития технической кибернетики. Это определило давление многих идей технического характера на формирование положений экономической кибернетики. Огромные успехи кибернетики породили одновременно стремление рассматривать ее законы как всеобщие, а саму кибернетику как науку наук. Всерьез стали говорить даже о возможности покорения человека кибернетическими машинами.

«Оформление кибернетики как самостоятельной науки, — утверждает, например, А. Я. Лернер, — явилось поистине революционным событием, вызвавшим глубокую перестройку всего современного научного мировоззрения» (28, стр. 14). В переведенной с немецкого языка книге Г. Клауса также содержится утверждение: «Будущи революционизирующим научным феноменом, кибернетика ставит перед историческим материализмом во многих отношениях новые большие задачи» (21, стр. 31).

Пренебрежительное отношение к кибернетике со стороны одних и чрезмерное восхваление ее другими объясняются в значительной мере тем, что она возникла и сформировалась, во-первых, как техническая наука и, во-вторых, за рубежом, в среде, не признающей марксистского диалектического метода. Вследствие этого бурное развитие кибернетики сопровождалось открытием некоторых всеобщих законов развития природы и общества, давно уже сформулированных основоположниками марксизма. Но теперь эти «открытия» приписываются кибернетике.

Некоторые буржуазные теоретики пытаются полностью опровергнуть основные положения диалектического материализма. Например, Л. Бриллюэн, выдвинувший «негэнтропийный» принцип информации, в одной из своих последних работ пишет: «Было провозглашено много метафизических учений, в том числе и так называемый диалектический материализм. Вскоре оказалось, что все эти искусственные сооружения ограничивают свободу мышления» (7, стр. 13).

При этом Бриллюэн утверждает, что абсолютной истины нет: «Если общее поле наблюдения не дано и если погрешность не установлена, то определение «информация» утрачивает свою силу, а информация может возрасти до бесконечности или снизиться до нуля.

Эти общие замечания относятся к той ситуации, которая неоднократно подчеркивалась философами при обсуждении научных законов.

Итак:

А) научный закон всегда имеет ограниченную область применимости;

Б) он справедлив «в определенных рамках возможных ошибок».

Если условия А и Б не конкретизированы, то определение закона неполно и лишено смысла» (7, стр. 45).

Спрашивается, почему же Л. Бриллюэн не конкретизировал А и Б для выдвинутого им закона об обязательности А и Б? Очевидно, что при этом ему пришлось бы по пункту А заменить слово «всегда» на конкретную область его применения, а по пункту Б указать, что утверждение справедливости законов «в определенных рамках возможных ошибок» касается и справедливости самого этого утверждения. Нельзя, как видно, строить

науку, отрицая безоговорочную истинность ряда основных предвходящих положений.

В той же работе Л. Бриллиэн утверждает: «Современный ученый должен раз и навсегда отказаться от идеи реального объективного мира». Обоспывает он это тем, что любое наблюдение, влияя на предмет или явление, искажает его и тем самым исключает возможность наблюдения реального объективного мира. «Когда вы смотрите на объект, вы видите его постольку, поскольку воспринимаете от него хотя бы несколько квантов *hν*... Нельзя провести ни одного наблюдения без возмущения объекта» (7, стр. 86—87).

Однако научная практика опровергает подобные утверждения. Даже при больших возмущениях, вызванных наблюдением (вплоть до полного разрушения наблюдаемого объекта, чего иногда даже требует наблюдение), целью и объектом исследования всегда остается реальный объективный мир.

Построение коммунизма означает полное покорение человеческим обществом созданных им мощных производительных сил, т. е. управление ими. Управляемыми же производительные силы становятся при двух условиях: при общественной собственности на средства производства и построении эффективной системы управления общественным производством. «Создав новый, советский, тип государства, — указывал В. И. Ленин, — открывающий возможность для трудящихся и угнетенных масс принять деятельнейшее участие в самостоятельном строительстве нового общества, мы разрешили только небольшую часть трудной задачи. Главная трудность лежит в экономической области: осуществить строжайший и повсеместный учет и контроль производства и распределения продуктов, повысить производительность труда, *обобществить* производство *на деле*.

...Мы, партия большевиков, Россию *убедили*. Мы Россию *отвоевали* — у богатых для бедных, у эксплуататоров для трудящихся. Мы должны теперь Россией *управлять*» (2, т. 36, стр. 171, 172).

Тогда проблемы управления многоукладной экономикой России требовали решения множества сложнейших задач важнейшего социального значения, но тем не менее В. И. Ленин подчеркивал необходимость применения «многого, что есть научного и прогрессивного в систе-

ме Тейлора», «введения наилучших систем учета и контроля и т. д. Советская республика во что бы то ни стало должна перенять все ценное из завоеваний науки и техники в этой области» (2, т. 36, стр. 189, 190).

С тех пор прошло более 50 лет. Производство в Стране Советов обобществлено на деле. Социализм шагнул далеко за пределы СССР. Производительные силы неизмеримо выросли. Вместе с ними возросла и острота проблемы оптимального управления функционированием социалистической экономики. Производительные силы созрели для обобществления средств производства раньше, чем появились технические средства управления ими. Обобществление предшествовало построению системы технических средств управления общественным производством, способствовало дальнейшему бурному развитию производительных сил и вместе с тем резкому обострению необходимости автоматизации управления ими.

Технические проблемы автоматизации управления требуют решения множества экономических задач и базируются на этих решениях. В связи с этим кибернетика как наука об оптимальном управлении становится экономической кибернетикой, а высокий уровень развития технической кибернетики определяет перемещение центра тяжести проблем в область экономики.

В технически развитых капиталистических странах достигнуты значительные успехи в автоматизации управления производством. Но построение автоматизированной системы управления общественным производством в этих странах невозможно без смены формы собственности на средства производства.

В социалистических странах проблема обобществления средств производства уже решена, что обеспечивает огромные преимущества в подчинении обществу бурно развивающихся производительных сил. В этих странах важнейшей задачей является автоматизация управления общественным производством. Практическое осуществление ее выдвигает экономическую кибернетику как науку на передний план борьбы за построение коммунизма.

В предлагаемой читателю работе к экономической кибернетике относятся только те категории, положения и толкования, которые могут быть отнесены к кибернетике вообще, но в то же время не являются всеобщими, собственными и всем другим наукам.

В настоящее время нет ни учебного курса, ни программ, ни учебных пособий по экономической кибернетике. Поэтому в данной работе сделана попытка осветить более или менее полно весь комплекс вопросов, касающихся этой молодой науки: предмет и метод, основы теории информации, систем управления вообще и управления производством в частности, начиная от определения объемных задач, возникающих на самом верхнем (государственном) уровне системы управления общественным производством и кончая оптимизацией решений в процессе оперативного регулирования хода производства на рабочих местах.

В связи с этим обоснование ряда положений, вытекающих из рассмотрения сложных теоретических вопросов и несомненно остающихся в значительной части дискуссионными, сочетается с изложением некоторых элементарных вещей, представление о которых весьма полезно для начинающих изучение проблем экономической кибернетики.

Глава I

ПРЕДМЕТ И МЕТОД, СОДЕРЖАНИЕ И ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ

Цель этой главы выяснить роль управления в развитии явлений, уточнить место кибернетики в управлении, вскрыть особенности экономической кибернетики и ее место в управлении общественным производством, очертить предмет и метод экономической кибернетики, показать необходимость и возможность формирования на современном этапе развития производительных сил экономической кибернетики как науки, определить ее содержание и связь с другими экономическими науками.

1. Управление как процесс целеустремленного использования объективных законов

В любой области знаний наука изучает объективно действующие законы, выражающие необходимую и существенную связь между явлениями. Человек может только изучать их, но не отменять или создавать новые. Но вместе с тем от воли человека, от знания им законов, умения и наличия реальных возможностей их использования зависит создание тех необходимых условий и предпосылок, в которых может действовать или не действовать тот или иной объективный закон. Поэтому все явления, с которыми приходится встречаться человеку, можно подразделить на *управляемые, неуправляемые и случайные*.

К управляемым относятся явления, которые изучены в такой степени, что известны существенные и необходимые связи между ними, обязательные и достаточные условия, вызывающие, исключают или предотвращающие явления, а также освоены пути и методы создания этих условий в данной конкретной обстановке.

К неуправляемым относятся все те явления, о которых известно, что они обязательны при таких-то условиях и в такой-то последовательности. На этой основе

совершенно точно определяются время и место явлений, но нельзя еще создать условия, их вызывающие или предотвращающие.

Случайные явления — это те, о которых в лучшем случае известно, что они возможны при пересечении тех или иных самостоятельных, до пересечения взаимонезависимых закономерных процессов, но неизвестны точно моменты времени и точки пересечения.

Ряд однородных случайных явлений в среде закономерных процессов, возникающих как объективная необходимость пересечения последних, образует стохастический процесс. Для стохастических процессов известны средняя длительность событий и средняя длина интервалов между ними. Их закономерности являются предметом теории вероятностей и неразрывно связанной с ней математической статистики. Случайные явления, о которых неизвестно, в результате пересечения каких закономерных процессов они происходят, или это пересечение оказывается за пределами поля зрения наблюдателей, носят характер стихийных явлений.

Таким образом, управляемость, неуправляемость или случайность явлений зависят прежде всего от степени познания человеком взаимодействия и взаимосвязи явлений, а также от наличия у него реальных возможностей целеустремленного использования объективно действующих законов для создания таких условий и обстановки, в которых неизбежно начинают действовать законы, обеспечивающие ход развития событий в требуемом направлении.

Иначе говоря, человек может подчинять своей воле ход того или иного процесса путем использования одних объективных законов для создания или исключения условий, вызывающих действие других. Так, для того чтобы воду превратить в пар, нужно не только знать закон этого превращения, но иметь также воду и определенное количество тепла. Природе неизвестны случаи, когда от Земли стихийно отрывались ее кусочки, улетали в космос, совершали мягкую посадку на Венере и передавали информацию об этой далекой планете. Это человек создал условия, при которых происходят такие процессы.

Воздействие на ход явлений в природе, опосредованное техникой, является процессом труда и конечным результатом управленческой деятельности людей, а также

исходным моментом в развитии управляемых явлений природы. Исходя из этого, всякая совокупность человеческих действий, обеспечивающих развитие явлений в нужном направлении, представляет собой управление. Наука об управлении в целом занимается изучением путей, методов и средств определения и реализации наилучших в данных конкретных условиях воздействий на явления в природе, технике и обществе, при всестороннем учете их объективных взаимосвязей и взаимодействия. Перед наукой об управлении ставится задача изучения законов использования законов с целью развития событий в требуемом направлении.

Таким образом, для управления необходимо знание конкретной обстановки, цели движения, законов поведения управляемого объекта при воздействиях на него, а также вполне определенных целенаправленных затрат физической и интеллектуальной энергии, т. е. труда. Знание и труд определяют успех управления, причем труду принадлежит ведущая роль. Можно знать, но не сделать, и можно не знать, но сделать. В последнем случае при надлежащем усердии и трудовых усилиях метод «тыка» (или метод «проб и ошибок») обязательно приведет к накоплению знаний, необходимых для решения возникающих задач.

2. Управляющие—информационные и управляемые — материальные процессы

Производство представляет собой совокупность материальных и информационных процессов, в которых движение сочетается с постоянным преобразованием предметов и информации из одного вида в другой.

Внимание человечества уже давно приковано к закономерностям движения и преобразования предметов труда в процессах производства. Им посвящено огромное число научных обобщений и экспериментов, на основе которых сформировались технические и естественные науки, до мельчайших подробностей отшлифованы различного назначения технические средства и технологические процессы. Однако закономерности движения и преобразования информации, обслуживающей производство, попали в поле зрения людей сравнительно недавно. На их основе и начала формироваться новая область знаний — кибернетика.

В простых процессах труда физическая энергия человека расходуется на перемещение и преобразование вещественных элементов (средств и предметов труда), интеллектуальная — на перемещение и преобразование информации, обслуживающей процесс труда. Никакой труд немыслим без единства материальных и информационных процессов. Как без физического воздействия на предметы труда, так и без информации процесс труда не состоится. Вместе с тем материальные и информационные процессы разделяются между собой как во времени, так и пространстве, и каждый из них получает свое самостоятельное движение.

Разделение материальных и информационных процессов явно выражено уже в простых процессах труда. Оно проявляется в том, что информация (представление) о вещи, созданной в результате труда, возникает у человека до физического воздействия на предмет труда. «В конце процесса труда, — писал К. Маркс, — получается результат, который уже в начале этого процесса имелся в представлении человека, т. е. идеально» (1, т. 23, стр. 189). С другой стороны, характер самого воздействия на предмет труда является следствием уже накопленной в прошлых процессах труда информации о законах поведения предмета при том или ином на него воздействии. Пространственное разделение материальных и информационных потоков выражается в том, что движение первых опосредуется физической, вторых — интеллектуальной деятельностью человека.

На уровне предприятий многие процессы передачи и переработки информации превращаются в трудовые процессы, выполняемые предназначенными для этого людьми и подразделениями. На более высоких уровнях остаются главным образом потоки информации, а в состав материальных потоков входят лишь различного рода носители информации.

Когда процесс труда рассматривается как совокупность трех моментов (целесообразная деятельность, или самый труд, предмет и средства труда), то предполагается, что информационные процессы происходят в голове работника, относятся к области биологических наук и в качестве экономической категории не рассматриваются.

В информационных процессах также присутствуют все три момента процесса труда, но предметом, средства-

ми и продуктом труда является информация. Роль предмета труда в информационных процессах играет *оперативная* информация, характеризующая состояние управляемого объекта в данный конкретный момент. Средством переработки (аналогично средствам труда в материальных процессах) служит различного рода *справочная* информация: о цели управления, законах поведения управляемого объекта, правилах воздействия на него, характеристика объекта и работников, таблица умножения, словарный фонд и т. д. Продуктом информационного процесса является *управляющая* информация, т. е. информация о необходимом воздействии на управляемый объект в данных конкретных условиях при данной цели управления.

Оперативная информация образуется на объекте управления и передается управляющему органу. Справочная информация является принадлежностью управляющего органа. Та и другая хранится на различных носителях, образующих «память». Оперативная информация под воздействием справочной преобразуется в управляющую и выдается на объект. Таким образом, управление по своему существу сводится к сбору, накоплению, хранению, передаче, переработке и выдаче информации. Каждый из этих переделов информации нуждается в определенных носителях, преобразование которых осуществляется в процессах труда, состоящих в свою очередь из материальных и информационных процессов.

Исходя из деления производственных процессов на материальные и информационные, можно провести также различие между механизацией и автоматизацией труда, в том числе управленческого. Привлечение различных технических средств и видов энергии для осуществления материальных процессов составляет сущность механизации, а для информационных процессов — сущность автоматизации производства.

Во взаимоотношении с материальными информационные потоки являются управляющими, материальные — управляемыми. Такое их различие более точно отражает существо вопроса, тем более что информационные потоки материальны, а материальные несут информацию. Тем не менее в силу привычки в последующем изложении сохраняются уже установившиеся названия: материальные и информационные потоки.

3. Кибернетика — наука об информационных процессах

В ряде случаев информационные процессы совпадают с материальными. Например, подход кулачка распределительного вала двигателя к толкателю клапана свидетельствует о том, что клапан должен открыться и кулачок же выполняет эту функцию. В данном случае факты информируют о себе и определяют последовательность событий.

В других случаях информационные процессы отделяются от материальных и получают самостоятельное движение, но неизбежно в материальной форме. Примером может служить регулятор двигателя внутреннего сгорания. Об отклонении числа оборотов вала двигателя от заданного свидетельствует положение грузов регулятора, различных тяг и в конечном счете изменение положения дроссельной заслонки, регулирующей подачу топлива. Таким образом, между вращающимся коленчатым валом двигателя и горючей смесью, определяющей скорость вращения, действует целая система грузов, тяг, пружин, заслонок и т. д. Их назначение состоит в том, чтобы «чувствовать» скорость вращения, определять в зависимости от ее величины направление перемещения заслонки и в соответствии с полученным результатом (решением) воздействовать на нее.

В таких системах все функции четко делятся на управляющие и управляемые. Потоки силовых, энергетических и других функций, связанных с управлением основным потоком, отделяются в самостоятельные и образуют содержание обособившихся информационных процессов.

Когда оперативная информация и цель управления требуют выбора управляющих воздействий (различных в реальной обстановке), информационные процессы еще более четко выделяются в самостоятельные, существенно усложняются и все настойчивее требуют обобщения присущих им закономерностей.

Простым примером такой системы может служить конвейер с автоматической адресацией деталей. Информация о том, что навешено на крюке конвейера, фиксируется специальным датчиком и поступает в решающее устройство. На основе заранее установленных и матери-

ализованных в конструкции решающего устройства правил вырабатывается управляющая информация, определяющая воздействие на механизм переключения стрелки конвейера и адресацию подвешенной детали. Выбор решения усложняется, если адресация не однозначна, если требуется выбор наилучшего решения, зависящего от загрузки адресатов, последовательности расположения и количества адресуемых изделий.

Чем сложнее выбор наилучшего решения в зависимости от конкретных данных, характеризующих сложившуюся обстановку, тем настоятельнее становятся требования к развитию специальной науки, изучающей информационные процессы, функционирующие в системах при их взаимодействии с внешней средой. Эта наука и получила название кибернетики. *Кибернетика*, следовательно, изучает информационные процессы, т. е. процессы формирования, движения и преобразования информации, определяющей поведение системы в ее взаимодействии с внешней средой.

В любой системе под воздействием внешней среды функционируют силовые, энергетические, химические, социальные и другие процессы. Каждый из них может функционировать самостоятельно или в различных комбинациях с другими. Управляемые и неуправляемые процессы являются предметом изучения технических, естественных и социальных наук. Управляющие, или информационные, процессы составляют область кибернетики, что и отличает кибернетику от всех других наук.

4. Актуальность автоматизации управления производством

С развитием производства неизбежно растут и объемы обслуживаемой его информации. Статистических данных о темпах роста информационных потоков нет. Но можно с уверенностью сказать, что они не ниже темпов развития производства, поскольку 1) с развитием производства непрерывно возрастает число производственных объектов, видов продукции, профессий; 2) состояние производства характеризуется множеством показателей, правильная оценка которых возможна лишь с учетом усложняющихся народнохозяйственных связей; 3) переработка информации с целью оптимизации принимаемых

решений увеличивается не пропорционально росту количества информации, необходимой для достаточно точного учета непрерывно усложняющихся народнохозяйственных связей, а значительно быстрее.

Если же учесть, что темпы технического прогресса в области перемещения и видоизменения вещественных элементов выше, чем в области движения и переработки информации, то становится совершенно очевидным существенно опережающий рост затрат общественного труда в информационных процессах.

По данным американского института промышленных инженеров, количество административных работников в США за 1900—1940 гг. возросло на 365%, а количество рабочих — на 75%. Эта тенденция сохранилась даже в период 1947—1962 гг., характеризующийся быстрым внедрением электронных вычислительных машин. Количество административных служащих за эти годы возросло на 49%, а количество промышленных и сельскохозяйственных рабочих сократилось на 8%. По расчетам В. И. Глушкова, «при сохранении существующего уровня планирования (а этот уровень совершенно не соответствует требованиям сегодняшнего дня) и при сохранении неизменным уровня технической оснащенности сферы планирования, управления и учета уже в 1980 г. потребовалось бы занять в этой сфере все взрослое население Советского Союза» (34, 1962, 14 октября).

При этом нужно иметь в виду, что вовлекаемые в управление производством люди не являются достаточно надежными звеньями в цепи управления. Инженерная психология, например, установила, что из 100 цифр человеком правильно распознается только 96; из 100 цифр, набираемых на телефонном диске, 16 оказываются ошибочными.

По данным американских авторов, гарантия правильного чтения и толкования полученного письма составляет 90%, составление ответа со знанием всех фактов — 95, аккуратное печатание или переписывание без серьезных ошибок — 99, правильная пересылка и адресация — 99,5, доставка почтой адресату — 99,9, правильное чтение и толкование ответа — 98% (3, 1965, № 6). Произведение этих коэффициентов в указанной цепи событий составляет 0,825 (82,5%). Значит, 175 писем из 1000 не попадает к адресатам.

Кроме того, увеличение численности управленческого персонала «разгружает» человека и от полезной информации, что снижает возможность принятия им наилучших решений.

Если управление производством уподобить конусу, основание которого составляет совокупность производственных процессов сферы материального производства, то при увеличении диаметра основания высота его будет расти значительно быстрее диаметра. В конце концов вершина конуса удалится от основания на такое расстояние, что он потеряет устойчивость.

Если попытаться растущие потоки информации перерабатывать лишь за счет дополнительного увеличения численности работников сферы управления, то когда-то наступит такой момент, когда система управления станет работать сама на себя и не сможет решать задачи производства. Подготовка докладов, отчетов и планов, уточнение фактов, обсуждение и согласование решений, оперативки, ожидание в приемной и другие элементы управления управлением будут все меньше и меньше оставлять времени для непосредственного руководства производством. А эти элементы тем значительнее, чем больше состав управляющего персонала. Следовательно, основным направлением в решении проблемы управления производством должно стать не увеличение управленческого аппарата, а повышение производительности управленческого труда.

Главным фактором повышения производительности управленческого труда (как и любого другого) является технический прогресс.

Советский Союз по многим направлениям технического прогресса занимает передовые позиции. Общеизвестны, например, достижения нашей страны и ее ведущее место в освоении космического пространства. Автоматические технические системы успешно выполняют возложенные на них функции далеко за пределами нашей планеты, подчиняясь командам, посылаемым с Земли. Тем не менее уровень автоматизации управления производством у нас значительно отстает от достигнутого в мировой практике, в частности в США.

Это отставание объясняется в некоторой мере тем, что в США выше, чем у нас, общий уровень промышленного развития, а значит и потребность в автоматизации управ-

ления производством. При отсутствии возможностей для планового ведения хозяйства, эта потребность в США проявилась и становилась все острее значительно раньше, чем в Советском Союзе. Тем не менее полное использование всех преимуществ планового ведения хозяйства немислимо без внедрения автоматизированных систем управления производством. Именно здесь проходит передовая линия фронта борьбы двух систем — социализма и капитализма.

Преимущества социализма ярко продемонстрированы всем ходом истории, всей практикой хозяйственного развития стран социалистического лагеря. Но вместе с тем общеизвестно, что объективно вытекающие из природы социализма преимущества используются далеко не полно. Необходимость изменения темпов развития производства того или иного продукта часто обнаруживается по образовавшимся в народном хозяйстве диспропорциям, причем иногда это случается даже позднее, чем могло бы случиться при ориентации на стихийное движение рыночных цен в условиях товарного производства.

Планомерное развитие социалистического хозяйства создает огромные и бесспорные преимущества по сравнению с «саморегулирующейся» системой капиталистического производства, основанного на частной собственности. Но обобществление средств производства, осуществляемое в процессе построения социализма, и бурное развитие производительных сил порождают новую, более высокую государственную ступень иерархической лестницы управления, требуют качественно новой, невиданной при капитализме системы управления народным хозяйством, основанной на новейших достижениях науки и техники.

Изучая экономику технически развитых капиталистических стран, наши экономисты еще имеют возможность выяснить, как под воздействием закона стоимости складываются пропорции развития их хозяйства, формируется структура производства и потребления по отдельным видам продукции (например, по топливу, химическим продуктам и т. д.), в каком направлении движется технический прогресс. Критически анализируя эти данные, советские экономисты учитывают все положительное при разработке народнохозяйственных планов. Но когда развитые капиталистические страны останутся позади

СССР, возможности учета действия в этих странах закона стоимости при решении задач развития социалистического хозяйства будут полностью исчерпаны.

На современном этапе коммунистического строительства советский народ создает материально-техническую базу коммунизма и добивается опережения наиболее развитых капиталистических стран по производительности общественного труда. Поэтому наука о выявлении важнейших параметров регулирования общественного производства и управления ими, о формировании, движении и переработке потоков производственной информации, об оптимизации функционирования производства путем комплексного применения и дальнейшего развития новейших математических методов и технических средств реализации информационных процессов (системотехники) все настойчивее стучится в дверь и требует своего признания.

5. Экономическая кибернетика

Управление пронизывает всю систему общественного производства сверху донизу. В этой системе можно различить три вида управления: а) людьми, б) техникой (средствами производства), в) производством (как координация во времени и пространстве первых двух видов управления).

Управление людьми в производстве осуществляется при различных общественно-экономических формациях в различных формах, сущность которых сводится либо к принуждению (неэкономическому и экономическому), либо к стимулированию (материальному и моральному), либо к тому и другому одновременно. Выражается это в писаных (кодекс законов) и неписаных (мораль) правилах поведения людей, определяемых экономическим базисом. Вопросы управления людьми являются предметом рассмотрения различных социологических наук, среди которых важнейшее место занимает политическая экономия.

В управлении техникой выражаются отношения между человеком и природой. Главная функция человека на рабочем месте, представляющая собой не что иное как труд, — управляющее воздействие на природу. «Труд есть прежде всего процесс, — писал К. Маркс, — совершаю-

щийся между человеком и природой, процесс, в котором человек своей собственной деятельностью опосредствует, регулирует и контролирует обмен веществ между собой и природой» (1, т. 23, стр. 188). Поэтому если рассматривать системы «человек — техника» или «человек — природа» (где промежуточным, опосредующим звеном обязательно является техника), то проблемы управления сводятся к проблемам трудовой деятельности. В этой системе человек — управляющий орган, техника — объект управления.

С точки зрения общественной имеется в виду, что человек работоспособен, обладает квалификацией, отвечающей требованиям техники, и находится под воздействием факторов, стимулирующих эффективное приложение труда. С точки зрения информационной предполагается, что процессы в организме человека совершаются в соответствии с требованиями производства. Что это за процессы, как и где они протекают — это предметы исследований различного рода естественных, но не экономических наук. Техника (совокупность средств производства) довольно часто, особенно в настоящее время, представляет собой очень сложные системы, в которых переплетаются многочисленные функции силового, транспортного, химического, информационного и другого характера. Этой областью занимается большое число технических и естественных наук.

Управление техникой рассматривается локально, без связи с управлением людьми и производством в целом. Правда, к каждому орудию труда как объекту управления предъявляются все большие требования по линии экономики, техники безопасности, медицины, инженерной психологии, технической эстетики и т. д., а также по линии оснащения средствами информационной связи с другими производственными единицами.

Индивидуальный труд может оказать должное воздействие на природу лишь в том случае, если он является элементом общественного труда. Поэтому необходимым условием функционирования и эффективности индивидуальных процессов труда становится их слияние в единый процесс общественного производства. «Всякий непосредственно общественный или совместный труд, — писал К. Маркс, — осуществляемый в сравнительно крупном масштабе, нуждается в большей или меньшей

степени в управлении, которое устанавливает согласованность между индивидуальными работами и выполняет общие функции, возникающие из движения всего производственного организма в отличие от движения его самостоятельных органов. Отдельный скрипач сам управляет собой, оркестр нуждается в дирижере» (1, т. 23, стр. 342). Эти общие функции и составляют область управления производством.

Управление производством призвано обеспечить такое взаимодействие многочисленных производственных (трудовых) процессов, выполняемых массой людей с привлечением множества средств производства, при котором результаты производства оказываются максимальными при минимуме затрат. В соответствии с этим наука об управлении производством занимается изучением путей, методов и средств эффективного слияния многочисленных трудовых процессов, функционирующих в обществе, в один целенаправленный процесс общественного производства.

Управление производством в настоящее время осуществляется людьми при слабом привлечении техники управления. В силу этого под управлением производством зачастую подразумевается главным образом управление людьми, в соответствии с чем к управлению относятся и стимулирование, и хозрасчет, и финансы, и психология, и многие другие социальные и экономические вопросы.

О. В. Козлова, например, говоря о предмете и методе науки управления производством и рассматривая управление производством в широком смысле слова, как «целенаправленную координацию общественного воспроизводства», различает в нем управление вещами и управление людьми. Поскольку люди — главная созидательная сила, управление определяется как «целенаправленное воздействие на коллективы людей для организации и координации их деятельности в процессе производства» (24, стр. 3).

Аналогичную точку зрения выразил и Д. Крук. По его мнению, к категориям науки управления производством «можно отнести категории минимизации, оптимизации и максимизации событий и процессов, их регулирования и координирования, стимулирования коллективов и отдельных работников и т. д.» (44, 1967, № 10, стр. 31).

Действительно, когда все управление производством осуществляется людьми и сводится к управлению ими, все управленческие функции выражаются в форме отношений руководства и подчинения (а также инициативы), основанных на должностном положении работников, авторитете, обязанностях, правах, дисциплине, материальном и моральном стимулировании и т. д. Однако и в данных условиях управленческая деятельность четко разделяется на два вида: *координацию* (включая специализацию, комбинирование, максимизацию, минимизацию и т. д.) и *стимулирование* действий (материальное и моральное).

Координация дает ответ на вопрос, что должно выполнять управляемое звено, чтобы система общественного производства функционировала в оптимальном режиме. Стимулирование отвечает на вопрос, как воздействовать на управляемое звено, чтобы оно выполняло возложенные на него функции с присущими ему возможностями и требуемой интенсивностью.

Умение наилучшим образом выполнять функции координации определяет в конечном счете должностное положение и авторитет работников как руководителей. Являясь наиболее существенным видом управления на всех уровнях, координация действий вместе с тем оказалась и наименее изученной. При современном уровне развития производства становится необходимой и возможной автоматизация функций координации, т. е. передача их техническим средствам. Важнейшее место среди этих средств принадлежит ЭВМ, организующим и перерабатывающим с высокой точностью и производительностью огромные потоки информации, обслуживающей производство.

Вопросы стимулирования решаются главным образом на высоких уровнях управления. Им посвящены важнейшие разделы экономических наук, такие, как хозрасчет, труд, зарплата. Однако функции стимулирования не могут быть переданы техническим средствам.

Поэтому для практической деятельности людей правила стимулирования достаточно знать в общем виде. В области же координации требуется изучение конкретных правил формирования, движения и преобразования потоков информации, реализация которых может осуществляться не только в человеческой голове. Лишь в этом

случае управление производством превращается из искусства в науку.

Следовательно, и науку об управлении следует рассматривать не как комплекс правил поведения людей и воздействия на них в системе управления, а в информационном, т. е. кибернетическом, аспекте.

Координация относится к управлению производством и осуществляется по своим законам и своими средствами вне связи с субъективными настроениями людей. Стимулирование же, независимо от качества координации процессов в общественном производстве, воздействует на настроение людей, их желание трудиться, повышать интенсивность труда и т. д. Первая группа категорий относится к области экономической кибернетики, вторая, как уже упоминалось, — к области многих других социальных и экономических наук.

В соответствии с этим экономическая кибернетика изучает информационные процессы, обеспечивающие слияние множества индивидуальных производственных процессов в один процесс общественного производства и его эффективное функционирование.

Управление как в любом отдельном трудовом процессе, так и в производстве, взятом в целом, всегда преследует вполне определенную экономическую цель. При выборе, например, оптимальных режимов резания, сечения несущей нагрузки балки, параметров парового котла, при скрещивании различных пород скота и т. д., критерием оптимальности обязательно является максимум результатов при минимуме затрат. В производстве не только цель, но и объект управления носят явно выраженный экономический характер, ибо производство является экономической категорией. Поэтому управление производством относится к числу экономических наук, хотя всестороннее его изучение требует и философского, и правового, и других аспектов рассмотрения.

В соответствии с тремя видами управления общественным производством кибернетика развилась по трем самостоятельным направлениям: биология, техника и экономика. Предметом рассмотрения биологической кибернетики являются живые организмы, к которым относится и человек, технической кибернетики — технические системы, экономической кибернетики — системы управления производством и распределением продуктов.

Биологическая кибернетика познает процессы и органы управления поведением живых организмов, протекающие в них информационные процессы, прямые и обратные связи, реакции на воздействия внешней среды, определяющие устойчивость их свойств, их самоорганизацию и адаптацию. Ближайшая цель познания процессов управления — непосредственное подчинение живой природы человеку, использование закономерностей, присущих живым организмам, для создания технических систем управления. Более далекая цель — совершенствование систем управления в самих организмах.

Для технической кибернетики главное состоит в создании технических систем управления, обладающих качествами, наблюдаемыми в живых организмах.

Экономическая кибернетика изучает общественное производство, функционирующее как живой организм, с целью создания автоматизированных систем управления производством. Это требует разработки методов описания протекающих в производстве информационных процессов, выполняемых пока в основном людьми, оптимизации процессов на основе достижений математических наук и реализации их посредством технических средств, создаваемых на основе достижений технической кибернетики и других технических наук.

Первая промышленная революция вылилась в создание мощной машинной индустрии, использование в производстве новых видов сырья, материалов, энергии и т. д. Но началась она с процессов управления. К. Маркс иллюстрирует это так: «Например, при работе на прялке нога действует только как двигательная сила, между тем как рука, работающая с веретеном, щиплет и крутит, т. е. выполняет операцию собственно прядения. Как раз рабочая часть ремесленного инструмента прежде всего и захватывается промышленной революцией, оставляющей за человеком на первое время, наряду с новым трудом по наблюдению за машиной и по исправлению своими руками ее ошибок, также и чисто механическую роль двигательной силы. ...И даже паровая машина... не вызвала никакой промышленной революции. Наоборот, именно создание рабочих машин сделало необходимой революцию в паровой машине» (1, т. 23, стр. 385, 386).

Первая промышленная революция, таким образом, началась с автоматизации управления технологическими

процессами, хотя автоматизацию и принято считать более высокой формой технического прогресса по сравнению с механизацией.

Во второй промышленной революции исходным моментом также является автоматизация управления, но уже не технологическими процессами, а общественным производством. Во что выльется эта революция, представить пока трудно. Уже теперь можно констатировать факт, что действующие сейчас вычислительные машины по ряду параметров (быстродействие, надежность и др.) превосходят человеческий мозг. Число таких параметров будет неуклонно увеличиваться. Опасно ли это для общества? По-видимому, нет.

Во-первых, люди, создавая технические средства, превосходящие их способность бегать, летать, плавать, резать, копать, слышать, кричать, думать и т. д., только выигрывают в борьбе с природой и утверждают свое господство над нею.

Во-вторых, технические средства не копируют живую природу, в том числе и человека. Человек передвигается не так, как автомобиль, птица не летает, как самолет или ракета, рыба не плавает, как надводные или подводные суда. «Думающие» машины будут создаваться не сами по себе и не в качестве индивидуальной принадлежности человека, а как часть развивающейся системы общественного производства материальных благ, совершенно не претендующая на подчинение себе мира человеческих идей, вкусов, эмоций и т. д.

В-третьих, все, что создает человек, оказывается его полезным дополнением, а не внутренним содержанием. Нет оснований полагать, что в области кибернетических машин произойдет что-нибудь иное.

В-четвертых, кибернетические машины будут продуктом человечества, а не отдельных лиц. В человеческом же обществе в конечном счете берут верх лишь прогрессивные тенденции. Стало быть, если даже будет создана огромная кибернетическая система, полностью исключая людей из системы управления производством, цель управления у нее будет та, которую ей в зародыше заложил человек. Эта система возникнет не сразу, а в результате многих лет труда. Совершенствуя систему; люди будут отнимать у нее все вредное для общества и развивать лишь то, что приносит пользу.

Создавая любую технику, конструкторы всегда заботятся о ее безопасности, так как в ней таится определенная опасность травмирования человека. Поэтому какие бы аварии ни случались, например, на транспорте, мы все равно будем и ездить и летать, зная, что с каждым новым открытием, изобретением, разработкой вероятность аварий снижается, а скорость неуклонно идет вверх.

Все сказанное касается области взаимоотношений человека с природой. Но есть и вторая сторона медали: взаимоотношения людей, классов, государств. Здесь, конечно, технический прогресс может принести и уже приносил человеку большие неприятности (использование, например, в военных целях ядерной энергии, химии и т. д.). Но причиной их является не технический прогресс, а социальные противоречия. В принципе технический прогресс призван служить не разрешению социальных противоречий, а построению материально-технической базы общества, лишенного таких противоречий.

6. Метод экономической кибернетики

Метод экономической кибернетики — диалектический материализм. Диалектический означает признание всеобщей взаимосвязи предметов и явлений мира, их движения и развития на основе присущих им внутренних противоречий; материализм — признание материи единственной основой мира.

Поскольку диалектический материализм является методом для всех наук, необходимо остановиться на некоторых конкретных формах проявления его важнейших положений в кибернетике. Это особенно необходимо потому, что кибернетика, получившая повсеместное признание в связи с настоящей необходимостью практического приложения ее результатов, в ряде случаев пытается представить некоторые категории диалектического материализма как свои собственные, что не способствует четкому определению области кибернетики, растворяет ее в других науках.

Первой отличительной особенностью кибернетики, определяющей специфику ее метода, является то, что она, опираясь на теорию информации, существенно углубляет наши познания об окружающем нас мире. «Содержанием одной из основных идей, внесенных в наше мировоззре-

ние кибернетикой, — указывает А. Я. Лернер, — является новый взгляд на составляющие, из которых состоит окружающий нас мир. Классическое представление о мире, состоящем из материи и энергии, должно было уступить место представлению о мире, состоящем из трех составляющих: энергии, материи и информации...» (28, стр. 15). Это определение довольно ярко освещает важнейшую фундаментальную особенность кибернетики, хотя оно и не совсем удачно в том смысле, что и энергия и информация также материальны.

Более точно, хотя и не так ярко, излагает ту же мысль Г. Клаус: «Исходя из современного состояния наших знаний и особо учитывая новейшие достижения кибернетики, нам кажется уместным с методологической и систематической точки зрения различать три основных аспекта материи: вещественный аспект, энергетический аспект и информационный аспект» (21, стр. 45).

Информационный аспект материи, т. е. рассмотрение материи не в виде хаотического нагромождения беспорядочно (хотя и по определенным законам) движущихся вещей, а в виде организованной системы, обладающей определенным устойчивым порядком, создание и поддержание которого возможно лишь на основе функционирования информационных (управляющих) процессов, составляет важнейшую особенность кибернетики, отличающую ее от всех других наук и возвышающую ее над многими из них.

Вторая особенность кибернетики состоит в том, что ее задачи значительно шире любой другой науки. Все науки изучают явления, их закономерности. Некоторые из них (астрономия, например) пока этим и ограничиваются. Другие начинают вмешиваться в ход событий, влиять на них. Третьи создают невиданные до сих пор мощные орудия воздействия на природу путем привлечения сил самой природы.

Все науки используют всеобщие законы диалектического материализма для приведения в действие своих специфических законов. Кибернетика же не только использует всеобщие законы диалектического материализма и изучает системы управления в природе, технике и обществе, но и создает такие искусственные системы, которые обладают всеми присущими материальному миру свойствами: высокой организованностью материи, надеж-

ными прямыми и обратными связями, устойчивым характером взаимодействия с внешней средой, способностью выбора оптимального поведения в конкретной обстановке, способностью к адаптации, самообучению, самоорганизации и т. д.

Наиболее ярким примером «самосохраняющейся, самовоспроизводящейся и самодвижущейся системы взаимодействующих явлений может служить человеческое общество в его развитии, основанном на специфических социальных закономерностях...» В саморазвивающейся системе причина ее существования в конечном счете оказывается ее же собственным следствием. Цепь причин и действий замыкается здесь уже не только на «кольцо», но и на «спираль» (40, стр. 250). Эта система — результат естественноисторического развития природы и общества.

В задачу кибернетики входит создание искусственных систем, реализующих закономерности диалектического материализма и обладающих всеми указанными выше качествами. Живые организмы, включая человека, изучаются кибернетикой не только для отражения закономерностей их поведения в автоматических системах управления технологическими процессами и производством в целом, но и с целью дальнейшего совершенствования организма самого человека:

Из этой особенности кибернетики вытекает и то, что она должна углублять наши знания всеобщих законов диалектического материализма. Познание материальных вещей начинается с ощущения, затем осознания качества и, наконец, формирования количественной меры. «Сначала мелькают впечатления, — отмечал В. И. Ленин, — затем выделяется нечто, — потом развиваются понятия *качества* (определения вещи или явления) и *количества* (2, т. 29, стр. 301).

Перед кибернетикой ставится задача — раскрыть количественную определенность всеобщих законов, качественная сторона которых вполне раскрыта диалектическим материализмом. Если для познания мира можно ограничиться качественной определенностью всеобщих законов, то для создания мира необходимо знать и качественную и количественную определенность явлений, необходимо дальнейшее восхождение от абстрактного к конкретному.

В связи с указанными двумя особенностями кибернетики некоторые важнейшие понятия диалектического материализма конкретизировались в кибернетике в таких, например, понятиях, как обратная связь, гомеостазис, «черный ящик».

Принцип обратной связи рассматривается обычно как одно из важнейших открытий кибернетики. А. Я. Лернер, например, называет его «одним из важнейших понятий кибернетики» (28, стр. 111), Ст. Бир — одним из «самых фундаментальных понятий управления» (6, стр. 21). И. Е. Нелидов доказывает, что принцип «обязательности обратной связи имеет особо важное значение среди других положений кибернетики» (33, стр. 21). Н. И. Жуков пишет: «Понятия управления, информации и обратной связи — это, образно говоря, три кита, на которых зиждется все теоретическое здание кибернетики» (19, стр. 46) и т. д.

Под прямой связью подразумевается связь, определяющая поведение системы в зависимости от управляющего воздействия, под обратной — выбор управляющего воздействия в зависимости от поведения системы. Кибернетики делают упор на обратную связь. В одной из работ, например, значимость ее иллюстрируется так: «попробуйте предложить самому опытному водителю проехать с завязанными глазами 200—300 м по пустынному и прямому, как стрела, шоссе. Скорее всего, он откажется... У «слепого водителя» прерывается обратный поток информации, разрывается вторая половина контура управления, называемая обратной связью, выработка корректирующих управляющих сигналов становится невозможной. Водитель фактически теряет управление» (22, стр. 12).

Но останется ли автомобиль управляемым, если у него потеряется какое-либо звено в прямой связи, например один из шарниров рулевых тяг? По-видимому, эффект будет таким же, как и нарушение обратной связи. Следовательно, никаких различий в значимости для управления прямой и обратной связи нет.

Кроме того, «важнейший», «фундаментальный», «обязательный» принцип обратной связи не всегда обязателен. Системы управления в зависимости от источников информации, используемой для формирования сигналов управления, делятся на *разомкнутые* и *замкнутые* (28, стр. 108—112). Примером первой может служить система отопления, в которой интенсивность подачи тепла в по-

мещение зависит от внешней температуры, хотя на внешнюю температуру это тепло никакого влияния и не оказывает. Примером второй становится та же система в том случае, если интенсивность подачи тепла зависит непосредственно от температуры внутри помещения. Считается, что системы первого типа действуют без обратной связи, вторые — с обратной связью.

Строго говоря, разомкнутые системы также не лишены обратной связи, но она определяет меру воздействия не непосредственно на управляемые параметры, как в замкнутых системах, а на их регулятор, точнее—на связь между регулятором и регулируемыми параметрами, на которые одновременно воздействует среда.

В приведенном выше примере внешняя температура воздействует и на регулятор, определяя меру подачи тепла в помещение, и на теплоотдачу помещения. Если обратная связь свидетельствует, что регулируемые параметры (температура в помещении) не удовлетворяют установленным требованиям, то регулирующее воздействие направляется не непосредственно на изменение подачи тепла, а на изменение меры подачи тепла через регулятор в зависимости от внешней температуры или на интенсивность теплоотдачи помещения.

Таким образом, прямая и обратная связь одна другую обуславливает и одна без другой не существует. Даже представления о законах природы в порядке обратной связи (по результатам их использования в практической деятельности или в научных исследованиях) иногда довольно существенно уточняются.

Если «фундаментальное» понятие относится только к одному классу систем, то и все здание выглядит на таком фундаменте не весьма устойчивым. Нужно также учитывать, что в диалектике сложившаяся внешняя обстановка и цель управления прямо определяют характер управляющего воздействия. В кибернетике, наоборот, сперва выполняется управляющее воздействие (прямая связь) и в случае «отрицательной» обратной связи новое управляющее воздействие ослабляется или изменяется по направлению, а при «положительной» — усиливается и ведет в «разнос». С этой точки зрения принцип обратной связи в кибернетике выглядит вроде как перевернутый с ног на голову диалектический принцип взаимосвязи и взаимозависимости.

Каково же действительно место принципа обратной связи в кибернетике как науке об управлении?

Дело в том, что в процессе познания вещей, явлений, законов их количественная мера, как указывалось выше, познается в последнюю очередь, а от момента познания качественной определенности до момента познания количественной меры протекает определенный, иногда довольно большой период времени. В такие периоды (а также в любых других случаях отсутствия информации, количественно характеризующей взаимодействие явлений) и оказывается необходимым применение принципа, именуемого в кибернетике обратной связью и позволяющего управлять процессами на основе четких представлений лишь о направлениях развития процессов. Таким образом, под принципом обратной связи в кибернетике следует понимать использование для целей управления информации о качественной связи между управляемыми процессами и управляющими воздействиями при неопределенности количественной меры этих связей.

Поясним сказанное на упомянутых выше системах отопления. В первом случае необходимо знать, в какую сторону и насколько следует поворачивать маховик вентиля, регулирующего подачу тепла, при изменении внешней температуры, чтобы температура внутри помещения сохранялась на заданном уровне. Это требует большого количества справочной информации: о теплоотдаче помещения и носителя тепла, о связи подачи носителя тепла с положением маховика вентиля и т. д. Необходимо, следовательно, полное изучение процесса как в качественном, так и количественном отношении.

Во втором случае достаточно знать лишь в какую сторону нужно поворачивать маховик вентиля, чтобы увеличить или уменьшить подачу тепла в помещение. Количественная мера поворота не имеет значения. Если, например, температура внутри помещения выше заданной, то при малом повороте маховика в нужном направлении она так и будет оставаться выше заданной, свидетельствуя о необходимости дополнительного поворота в том же направлении.

Если же поворот маховика окажется излишне большим, то температура, опустившись до заданной, будет снижаться и после этого, свидетельствуя о необходимости поворота маховика в обратную сторону.

В первом случае требуется более глубокое знание системы управления, так как конечный результат ее действия (температура внутри помещения) может оставаться и неизвестным: он учитывается лишь при настройке системы управления. Во втором случае, если человек даже не знает, в какую сторону поворачивать маховик вентиля, чтобы в помещении стало теплее или холоднее, его практические действия очень быстро позволят найти правильное решение.

Таким образом, системы второго вида (замкнутые цепью обратной связи) в информационном аспекте находятся на более низкой ступени организации, более примитивны, не требуют для создания, настройки и эксплуатации наличия такого информационного комплекса, как системы первого вида (разомкнутые). Поэтому нельзя согласиться с Ст. Биром (6, стр. 47), что они всегда эффективнее. Но вместе с тем их использование совершенно необходимо там, где наши знания ограничены или где нет реальной возможности получать информацию о количественной мере происходящих процессов.

Рассмотрим другое понятие кибернетики — гомеостазис — способность системы противостоять нарушению ее функций, определяющаяся совокупностью реакций на воздействия внешней среды. Гомеостазис характеризует качество системы управления*. Качество и его устойчивость под воздействиями внешней среды присущи любому предмету и явлению. У кибернетиков нет никаких оснований для того, чтобы рассматривать гомеостазис как свойства, определяющие кибернетическую природу систем.

Количественные изменения всегда до известного предела происходят в рамках одного и того же по своему качеству объекта. Изменяясь количественно, этот объект не перестает быть тем, чем он есть. Но на определенной ступени развития или при определенной силе воздействия он теряет свое качество и становится иным. Движущая сила развития при этом выражается законом единства и борьбы противоположностей, т. е. взаимодействием и противоречиями между различными предметами и явлениями и внутри них.

* Качество системы управления нельзя смешивать с качеством управления, которое характеризуется значением результатов, достигаемых в соответствии с установленным критерием эффективности.

При любом переходе одного качества в другое старое качество оказывает сопротивление, не сразу сдает свои позиции, требует предшествующих количественных изменений обстановки при старом качестве. Температура льда, например, до 0° повышается почти вместе с внешней средой. Когда же начинается таяние, то какой бы высокой ни была внешняя температура, любое количество льда остается льдом и сохраняет нулевую температуру до тех пор, пока весь лед не превратится в воду. Стало быть лед (как и все в природе) обладает свойствами гомеостазиса и может быть отнесен к кибернетической системе. Если бы это было так, то кибернетика полностью растворилась бы во всех остальных науках.

Что представляет собой кибернетический метод «черного ящика»? Суть его заключается в том, что взаимодействие систем с внешней средой изучается без рассмотрения внутренних процессов, происходящих в системах. Такие системы и получили название «черного ящика». Этот метод позволяет абстрагироваться от множества процессов при изучении больших систем, рассматриваемых как некоторые совокупности «черных ящиков». Он также является не чисто кибернетическим, а всеобщим, отражающим диалектику абсолютной и относительной истины, согласно которой процесс познания никогда не прекращается и всегда движется вширь и вглубь.

Движение вширь требует обобщения и отвлечения от деталей, вглубь — перехода от внешних признаков к их внутренней связи. В любой области знаний есть вещи, о которых известно лишь их взаимодействие со средой, но не известно, что внутри них при этом происходит, почему определенное воздействие на вещь вызывает с известной степенью вероятности определенное обратное ее воздействие на окружающую среду. Такие, еще неизвестные науке, внутренние процессы обычно относятся к разряду «белых пятен» и не включаются в научный багаж.

Кибернетики, правда, не только переименовали «белые пятна» в «черные ящики», но и ввели специальные математические методы (корреляционные методы многофакторного анализа) количественной оценки вероятностных связей между входными и выходными величинами.

Таким образом, заслуга кибернетики состоит не в том, что она открывает новые всеобщие законы развития природы и общества, а в том, что кибернетическое толкова-

ние этих законов ярко подчеркивает как в этой новой науке утверждаются, прекрасно иллюстрируются и получают дальнейшее развитие вездесущие законы марксистской философии.

Исходя из особенностей кибернетики, можно назвать и специфический для нее метод. Основные черты этого метода сводятся: 1) к системному подходу, 2) конкретности, 3) математизации, 4) автоматизации. Все это относится к информационным процессам.

Системный подход выражается в таком оконтуривании составляющих систему частей, при котором каждая из них может рассматриваться локально (но не изолированно от всей системы). Это значит, что для каждой части четко описываются ее границы, внешние связи с системой и протекающие в ней внутренние информационные процессы преобразования входной информации в выходную, а в случае «черного ящика» — непосредственные связи между входными и выходными величинами.

Идея «черного ящика» породила мнение, что кибернетика якобы «отвлекается от внутренней природы сложных систем, ограничивая свою задачу исследованием их внешних функций и поведения в окружающей среде» (44, 1967, № 10, стр. 28). Но если под «черным ящиком» понимать сложную систему в целом, то вся проблема сводится к фиксации входов и выходов и к попыткам установления вероятностных связей между ними, неизвестно, к тому же, для какой цели. Ведь кибернетика и прибегает к методу «черного ящика» только для того, чтобы, установив на основе специальных математических методов (многофакторного анализа) количественную меру вероятностной связи между входными и выходными величинами и не зная внутренних процессов, протекающих в отдельных звеньях системы, иметь возможность изучить внутренние функции системы в целом.

Для экономической кибернетики системный подход имеет особо важное значение. Общественное производство представляет собой огромную, постоянно растущую систему. При социализме система общественного производства становится управляемой в государственных рамках. Закон стоимости — регулятор капиталистического производства — утрачивает в социалистическом обществе господствующее значение, хотя и напоминает о всех присущих ему в условиях частной собственности свойствах

как только обрываются или ослабляются нити планомерного управления.

Метод кибернетики характеризуется доведенной до конца конкретностью, за которой следует математическое изложение вопроса. Назначение кибернетики, как уже указывалось, состоит не только в познании, но и воспроизводстве (с помощью технических средств) процессов управления. Поэтому изучение и описание процессов должно производиться не в общем, а в самом конкретном виде. Если в порядке общего изучения системы управления общественным производством можно и нужно описывать в ней все, но крупными штрихами, то при воспроизведении ее в виде системы технических средств нужно вести рассмотрение по частям и совершенно конкретно.

Это не значит, что кибернетика должна до конца познать вещи и процессы. Конца познанию нет. Но это означает, что описание системы должно содержать качественные и количественные характеристики всего существенного, включая данные о границах абстракции, неопределенности связей, законах распределения случайных величин и событий и т. д. Этими требованиями собственно и отличаются в кибернетике прямые и обратные связи от взаимосвязи вообще, гомеостазис — от просто устойчивости и «черный ящик» — от «белого пятна».

При описании любой системы управления или ее части обязательно описываются процессы сбора, передачи и преобразования информации, функционирование которых связано с использованием математических методов, выражаемых комплексом вычислительных и логических операций, преобразующих информацию.

Поэтому метод кибернетики неотделим от математики. По мнению К. Маркса, указывал Поль Лафарг, «наука только тогда достигает совершенства, когда ей удается пользоваться математикой» (14, стр. 66). Общеизвестны усилия К. Маркса использовать математику при рассмотрении экономических процессов. «Я неоднократно пытался,— писал К. Маркс,— для анализа кризисов — вычислить эти *up and downs* * как неправильные кривые и думал (да и теперь еще думаю, что с достаточно проверенным материалом это возможно) математически вывести из этого главные законы кризисов» (1, т. 33, стр. 72).

* — повышения и понижения. *Ред.*

Известно, как много внимания уделил К. Маркс критике догмы Смита, какой мучительный анализ пришлось ему выполнить для доказательства того, что годовая стоимость, кроме авансированного переменного капитала и прибавочной стоимости, обязательно включает в себя и постоянный капитал. В настоящее время линейная алгебра позволяет с предельной четкостью разложить валовой продукт на все его составляющие, определить связь между валовым и конечным продуктом, увидеть в том и другом место затрат живого и овеществленного труда.

Матрицы линейной алгебры впервые введены в математику Кэли в 1857 г. Интерес к теории матриц возрос лишь в 1925 г. в связи с использованием ее в задачах квантовой механики. Линейное программирование как направление линейной алгебры сформировалось лишь в 30-х годах. Широкий простор для практического применения линейного программирования в экономике, как и для многих других направлений в математике, объединенных под общим названием исследование операций, открылся после появления электронной вычислительной техники в середине текущего столетия.

Особенности математических методов нахождения оптимальных решений определяют и четвертую характерную черту метода кибернетики — *автоматизацию* процессов преобразования информации на основе применения электронной вычислительной техники.

Электронная вычислительная техника вносит в кибернетику не только специфику применения математических методов, но и широкие возможности системного подхода к рассмотрению систем, а вместе с тем и специальные требования к системному подходу и конкретизации задач. Современные электронные вычислительные машины являются техникой, предназначенной не только для решения математических задач и развития математических методов в управлении, но и средством упорядочения информационных систем. По мнению некоторых зарубежных авторов, формализация правил управления производством для реализации их на ЭВМ, подготовка и упорядочение всей информации, необходимой для решения управленческих задач, еще до применения самой машины дает около 80% всего экономического эффекта, получаемого в результате внедрения электронно-вычислительной техники.

Создание электронной вычислительной техники — необходимая предпосылка превращения управления производством из искусства человека в науку. Как качество изображения окружности без циркуля является искусством и делом практического навыка, так и управление производством без электронной вычислительной техники, без формализованного, совершенно точного описания методов и правил управления для реализации их на ЭВМ является искусством управляющего персонала, но не наукой.

Как циркуль и освоение элементарных правил обращения с ним позволяют человеку чертить окружности, несравнимые по качеству с теми, которые он рисовал от руки, так и управление с использованием электронной вычислительной техники получает совершенно новое качество и требует от человека лишь освоения системы, но не самого управления. Современные электронные вычислительные машины, следовательно, являются необходимым элементом формирования экономической кибернетики как науки.

Некоторое улучшение управления может быть, конечно, достигнуто и за счет дальнейшего повышения искусства управляющего персонала. Поэтому можно прилагать усилия и в области изучения искусства управления, ибо расширение и углубление знаний всегда повышает и уровень искусства. Однако решающим здесь, как и в любой другой области, является технический прогресс. Самый искусный пловец не может угнаться за простой лодкой, а научиться хорошо плавать гораздо труднее, чем грести веслами или управлять мотором.

Таким образом, электронная вычислительная техника по праву называется кибернетической. Она, будучи результатом высокого уровня развития технической кибернетики и средством автоматизации информационных процессов, требует системного подхода, конкретности и строгой математической интерпретации этих процессов. Она не только требует соблюдения названных методологических принципов, но и создает возможности для их реализации, организует и развивает их.

Поэтому можно сказать: методом кибернетики, в том числе и экономической, является построение информационных моделей управляемых и управляющих процессов, их исследование и реализация посредством элект-

ронной вычислительной техники *. Следовательно, где нет электронной вычислительной техники, там нет и кибернетики, и, наоборот, где появляется электронная вычислительная техника, там появляются и кибернетические методы исследования и управления.

Известно, что во время жары испаряется влага. Поднимаясь вверх и достигая холодных слоев атмосферы, испарения охлаждаются, выпадают в виде дождя, снимают жару и снижают интенсивность дальнейшего испарения. В этом процессе налицо и обратная связь между явлениями (чем выше жара, тем больше испарений, обильнее дождь и сильнее охлаждение), и гомеостазис (общий диапазон температур в результате названного процесса весьма устойчив), и «черный ящик» (внутренние процессы испарения и конденсации влаги не рассматриваются). Тем не менее никакой кибернетики здесь нет. Нет и управления. Процесс осуществляется без всякой цели под воздействием совершенно безразличного к нему солнца.

Но достаточно рассмотреть этот процесс в информационном аспекте, т. е. построить информационную модель, отражающую то, что для нас в этом процессе существенно, взять, например, статистические данные и применить методы математической статистики и теории вероятностей для прогнозирования ожидаемого состояния погоды, как кибернетика и управление налицо. Правда, в данном весьма простом примере методы кибернетики могут реализоваться и без электронной вычислительной техники, а управляемым становится не сам описанный здесь процесс, а некоторый другой, оптимальное функционирование которого связано с ожидаемым состоянием погоды.

Живые организмы представляют собой сложнейшие системы, обладающие всеми свойствами кибернетических систем управления. Однако кибернетический метод их изучения возможен только с применением математики и техники для моделирования происходящих в них процессов, изучения связи между входными и выходными сигналами, накопления и переработки огромной информации для выявления закономерных процессов и т. д.

Под воздействием идей кибернетики некоторые авто-

* Точнее — информационной техники, поскольку вычислительная техника не всегда электронная, а в информационных процессах используется техника не только вычислительная.

ры выражают мнение, что вся политическая экономия К. Маркса основана на законах кибернетики, что классики марксизма-ленинизма «описали многочисленные типично кибернетические закономерности общества, хотя и не применяли употребляемую теперь в кибернетике терминологию» (21, стр. 24).

Политическая экономия рассматривает производственные отношения в их взаимодействии с производительными силами общества, но отнюдь не информационные процессы, характеризующие и обслуживающие это взаимодействие. Информационные процессы изучает экономическая кибернетика. Политэкономия раскрывает главным образом неуправляемые общественные явления, определяющие поведение всей системы общественного производства, кибернетика — системы управления. Первая ограничивается описанием закономерностей крупными штрихами. Вторая требует самого детального рассмотрения вопросов.

Анализируя капиталистический способ производства, К. Маркс дал блестящую картину взаимодействия производительных сил и производственных отношений при капитализме. Однако рассмотрение им капиталистического производства как «саморегулирующейся» системы еще не свидетельствует о том, что он вторгся в область кибернетики.

Капиталистическое производство, конечно, представляет собой сложнейшую кибернетическую систему, но тем не менее нельзя считать, что политическая экономия отличается от кибернетики только терминологией. Различие между ними состоит главным образом в том, что предмет политической экономии являются законы развития общества, а предметом кибернетики — информационный аспект явлений; специфическим методом политической экономии является исторический материализм, а методом кибернетики — имитация и реализация информационных процессов с помощью электронной вычислительной техники.

Заслуги К. Маркса перед кибернетикой определяются тем, что он сформулировал принципы диалектического материализма — методологии для всех наук; раскрыл экономические законы общественного развития, исходные для любой экономической науки, в том числе и экономической кибернетики; начертал многие штрихи конкретных

принципов организации управления производством будущего для того времени общества; создал подлинно научную теорию и верный метод исследования и преобразования живой, непрерывно развивающейся действительности.

7. Содержание и основные разделы экономической кибернетики

Главным содержанием кибернетики, как уже указывалось, является информационный аспект материи. В соответствии с этим главное содержание экономической кибернетики составляет информационный аспект управления производством. Из этого определения вытекает, что первым и основополагающим ее разделом является теория информации.

Управление общественным производством — сложнейшая система, требующая системного подхода к ее изучению. Это обуславливает необходимость рассмотрения систем управления, их определения, иерархии, классификации, функций и деления их на задачи по управлению, организации и т. д.

Система управления представляет собой совокупность методов и средств формирования, перемещения и преобразования информации, оптимизирующих поведение управляемого объекта. Методы в управлении производством получили название экономико-математических, что означает постановку задач по управлению экономической, а их решение математическое. Средства — это люди и техника. Исследование информационных процессов, происходящих в человеческих организмах, — предмет исследования для биологической кибернетики. Соответствие же технических средств требованиям формирования, движения и переработки производственной информации является предметом изучения экономической и технической кибернетики. На долю первой приходится постановка задач и требований к техническим средствам, на долю второй — их реализация.

Экономическая кибернетика возникла в связи с автоматизацией управления производством и призвана решать все возникающие при этом проблемы, прежде всего разрабатывать специальные методы постановки задач и описания систем управления производством, передавать функции управления техническим средствам.

Это требует изучения, дальнейшего развития средств вычислительной техники, методов разработки программ для ЭВМ, принципов построения и использования алгоритмических языков и возможностей применения различных технических средств для сбора, передачи, хранения, переработки и выдачи информации.

Большие перспективы изучения экономических процессов и экспериментальной проверки систем управления открывает метод математического моделирования на ЭВМ. Образцом экономико-математического моделирования являются общеизвестные схемы простого и расширенного воспроизводства общественного продукта, приведенные в трудах К. Маркса. Их построение и выполнение ряда последовательных шагов с целью выявления закономерностей экономического процесса требовали от исследователя огромного труда. В современных условиях методы математического моделирования экономических процессов на ЭВМ позволяют просматривать многолетние процессы в считанные минуты, а также выявлять закономерности функционирования множества одновременно действующих управляемых и стохастических процессов.

Таким образом, главным содержанием экономической кибернетики являются закономерности построения и функционирования автоматизированных систем управления производством. Эти закономерности вскрываются на стыке многих наук. К ним можно отнести: 1) теоретические основы управления (теория информации, системы, функции и методы управления, экономико-математическое моделирование и др.); 2) исследование операций как комплекс математических методов оптимизации решений (математическое программирование, теория игр, теория массового обслуживания, статистическое моделирование и т. д.); 3) программирование для ЭВМ, включая понятия об ЭВМ и автоматизации программирования; 4) технические средства автоматизированных систем управления производством.

8. Экономическая кибернетика и другие экономические науки

Исследование процессов управления производством, разработка методов их оптимизации, постановка задач по управлению и решение их с помощью математики и вычислительной техники, формирование требований к тех-

ническим средствам сбора, передачи и переработки производственной и экономической информации, оценка экономической эффективности автоматизации управления производством — все это экономические проблемы, предъявляющие к экономическим наукам новые, высокие требования. Нынешний уровень развития экономических наук не только не отвечает этим требованиям, но и значительно отстает от уровня развития нашей экономики.

Невиданные в истории темпы развития социалистической экономики требовали прежде всего форсированного развития математики, физики, механики, технологических и других наук. Развитие же экономических наук долгое время сдерживалось. Когда же назрела настоятельная необходимость в автоматизации управления быстро развивающимся производством на основе новейших достижений математики и применения электронной вычислительной техники, то оказалось, что, несмотря на огромные успехи советской науки в решении проблем автоматизации управления любыми техническими системами и технологическими процессами, в области автоматизации управления производством она отстает.

Директивами XXIV съезда КПСС в целях дальнейшего совершенствования управления народным хозяйством намечается широкое использование в управлении экономико-математических методов, электронной вычислительной и организационной техники и средств связи, развертывание работ по созданию и внедрению автоматизированных систем управления, создание единой общегосударственной системы сбора и обработки информации.

Автоматизация управления производством требует дальнейшего развития экономических наук, применения и разработки новых математических методов и создания технических средств управления.

Современный уровень развития техники, особенно электроники, позволяет автоматизировать любую функцию управления производством. Для этого необходимы разработка алгоритмов решения комплекса взаимосвязанных задач, составляющих систему управления, и определение границ экономически целесообразной автоматизации.

В настоящее время эти экономические проблемы еще не решены, а по ряду существенных вопросов не созданы даже необходимые предпосылки для успешного их реше-

ния. Так, почти на каждом предприятии применяются свои методы управления, установлены свои производственные показатели, формы документов и т. д., хотя цели, задачи и средства управления везде в основном одни и те же.

Требует решительного улучшения система начисления заработной платы. Создатели этой системы явно забыли известное ленинское положение о том, что формы и способы начисления заработной платы должны быть доступны пониманию каждого рабочего и служащего. Расчёты по зарплате усложняются большим числом всевозможных начислений, в основе которых лежат тарифные ставки то сдельщика, то повременщика. При определении среднего заработка принимается в расчёт много различных периодов времени, а состав заработка, учитываемый при расчёте, весьма разнообразен. Неоправданно много видов отпусков.

Очень усложнено начисление подоходного налога на рабочих и служащих государственных предприятий и учреждений. Уже давно известно, что средства, изымаемые в виде подоходного налога, могут поступать в распоряжение государства и без включения их в состав заработной платы. Однако до сих пор эти суммы включают в зарплату, чтобы потом удерживать их как подоходный налог. Таким образом, порожденная социалистическим обобществлением средств производства совершенно очевидная возможность полной ликвидации подоходного налога на рабочих и служащих до сих пор полностью не использована.

Главное в разработке алгоритмов — постановка конкретных задач управления. Решить эту проблему должны прежде всего экономисты и организаторы производства. Без четкой постановки задач невозможен поиск и разработка математических методов их решения, а без разработки алгоритмов не могут быть составлены с исчерпывающей полнотой и точностью технические задания на проектирование и изготовление технических средств реализации алгоритмов.

Во внедрении автоматизированных систем управления, подготовке к этому предприятий и отраслей, в эффективном использовании действующих систем первое место также принадлежит экономистам и организаторам производства.

Следовательно, главную роль в автоматизации управления производством как наиболее актуальной задачи современности играют не техники и математики, а экономисты и организаторы производства.

У нас господствует мнение, что руководитель производства обязательно должен быть инженером, специалистом, хорошо знающим прежде всего технику и технологию. Однако по мере развития производства все отчетливее проявляется необходимость привлечения к руководству лиц, знающих не столько технологию, сколько экономику, организацию и управление. Директор завода с инженерным образованием без ущерба для дела может забыть физику, механику, сопротивление материалов, металлографию, теорию резания и т. д. Но он совершенно не сможет руководить предприятием, если не освоит экономику производства.

Командующий вооружением армии США Ф. С. Бессон, определяя место и роль руководителей проектов в системе управления программами работ, отмечает, в частности, «руководитель не пытается своим аппаратом выполнять работы по разработкам и производству вооружения. Он только руководит выполнением этой работы... Более того, мы вынуждены тщательно изучать деятельность персонала в отделах руководителей проектов, чтобы убедиться в том, что эта деятельность сосредоточена исключительно на выполнении функций управления, а не на решении задач разработок и производства» (32, стр. 174).

Наряду с развитием экономической кибернетики требуется дальнейшее углубление и конкретизация научных истин в области конкретной экономики. Именно здесь прежде всего должны найти применение кибернетические методы системного подхода и конкретизации, доводимой до математической формализации.

Учебные дисциплины, обслуживающие конкретную экономику, должны постоянно и существенно обогащаться такими инструментами изложения материала, как алгоритмы, под которыми понимаются точные описания последовательности выполнения процессов преобразования исходной информации в производную. Алгоритмами можно описать любую закономерность. Это описание — самое точное и конкретное, особенно в сравнении с практикуемыми сейчас в области экономических наук. Без алгорит-

мического изложения нельзя всерьез говорить и о программированном обучении будущих экономистов.

Кроме того, в дисциплинах по конкретной экономике должны все больше и больше места занимать математические методы и технические средства управления. Их следует сделать достоянием всех учебных дисциплин, а не только экономической кибернетики. В связи с этим появление такой специальности, как «математические методы в экономических исследованиях» вряд ли можно рассматривать как серьезное намерение ликвидировать отставание экономических наук. Эта специальность как бы локализует область применения математики в экономике, позволяет сохранять все остальное на прежнем уровне, делит экономические науки на две части: с применением и без применения математики.

Математические методы в экономике неприемлемы без конкретной постановки экономической задачи. Постановка же экономической задачи — это конкретная область экономики. Математические методы в физике, механике, технике как самостоятельная специальность выглядели бы смешно, а в экономике всерьез считается, что математические методы могут рассматриваться как некоторое внешнее приложение. Большее право на самостоятельное существование имеет экономическая кибернетика как наука об общих законах управления экономическими процессами. Но она еще не получила признания и в перечне специальностей ее нет.

Управление производством, как и любой другой процесс труда, может осуществляться при различной степени привлечения технических средств. До последнего времени в этой области были заняты люди, слабо вооруженные техникой. Поэтому и управление производством сводилось главным образом к руководству людьми. Применительно к этому развивалась и наука об управлении (точнее — о руководстве) народным хозяйством. Тем не менее вытекающие из учения К. Маркса и разработанные на заре развития социалистической экономики ленинские принципы хозяйствования (первенство политического подхода к решению экономических задач, планомерность развития народного хозяйства, демократический централизм, всесторонний учет и строжайший контроль за производством и распределением, использование материальной заинтересованности) полностью сохраняют свою ве-

ликую жизненную силу и теперь, когда назрела необходимость автоматизации управления производством

Если даже предположить, что люди полностью передадут все функции управления производством техническим средствам, сформулированные В. И. Лениным принципы хозяйствования не утратят своей силы, ибо только на их основе может быть создана автоматизированная система управления экономикой нашего отечества. Может быть внедрена в практику и заменить людей в управлении только такая автоматизированная система, функции которой полностью отвечают всем требованиям ленинских принципов и способствуют их осуществлению.

Ленинские принципы руководства народным хозяйством, общие для всех его отраслей, рождены социалистическим способом производства и составляют основу его функционирования. На них в значительной мере базируются также правовые отношения. Поэтому место их изучению не в конкретных экономических дисциплинах, где должно освещаться лишь их приложение, а в политической экономии социализма, закономерности которой являются исходными и для теоретических положений экономической кибернетики.

При стремительных и непрерывно нарастающих темпах развития производства 150 лет, прошедшие со дня рождения основоположника научного коммунизма К. Маркса, представляют значительный отрезок времени. За этот период социализм стал реальной действительностью. В развитии наук возникли новые направления, которых при К. Марксе не было и в помине. К их числу относится и экономическая кибернетика.

Экономическая кибернетика еще не оформилась как самостоятельная наука. Но нет сомнения в том, что скоро она займет достойное место среди всех других наук, ибо предмет ее составляют сложнейшие проблемы управления общественным производством, отклонения от оптимального управления которым сопровождаются наибольшими экономическими потерями. При современном состоянии общественного производства любые шаги, предпринимаемые хотя бы для частичной, но надежной оптимизации управления им, дают во много раз больший экономический эффект, чем любое, даже самое выдающееся изобретение или мероприятие технического характера.

Глава II

УПРАВЛЕНИЕ КАК ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС

В этой главе рассматриваются важнейшие исходные положения теории информации, дано ее определение, деление в зависимости от места в информационных процессах на два больших класса: справочники и сообщения, мера информации. Шесть параграфов отводятся общим вопросам, остальные — экономической информации, выяснению ее особенностей и связи с общей теорией информации, освещению некоторых исходных моментов, касающихся ее движения и преобразования в автоматизированных системах управления производством.

1. Что такое информация

Информация, как и все в природе, обладает множеством различных свойств и несет большую информацию о самой себе. Поэтому определения информации многочисленны. Наиболее часто встречающиеся — совокупность сведений, осведомление, сигнал и т. д. — не вносят ясности в это понятие. Если поставить вопрос наоборот — что такое сведения, осведомленность или сигнал, то ответ может быть только один: это информация о том или ином событии, явлении и т. д.

Академик А. И. Берг высказал следующую оригинальную точку зрения: «Сам по себе термин информация не имеет точного определения. Это не должно нас смущать. Мы не знаем, что такое время, но отлично измеряем его... и кладем в основу расчетов эффективности... неправильное использование времени в ряде случаев карается законом» (5, стр. 12).

К этому, может быть, следует добавить, что любая вещь не может иметь исчерпывающего все ее свойства определения. Даже в обширных трактатах по поводу са-

мой простой вещи могут быть описаны лишь уже познанные ее свойства.

Значит, как в определении любой вещи следует отражать лишь те ее стороны, которые имеют отношение к рассматриваемому процессу, так и в определении информации необходимо выделить лишь существенное, связанное с информационными процессами (сбор, передача и преобразование информации). Самым же существенным в этом отношении является ее материальная субстанция. Информация с этой точки зрения представляет собой форму материи или энергии, выражающую качественную определенность или количественную меру свойств, состояний, взаимосвязей и взаимодействия вещей, явлений, процессов.

Информация, как и энергия, принадлежит материальному миру, может быть скрыта в вещах или приведена в действие. Отделяясь от вещей на различного рода материальных носителях, она служит средством объяснения закономерностей мира и его преобразования.

Информационные процессы не всегда связаны непосредственно с людьми. Прежде всего огромнейшую информацию (о весе, цвете, химическом составе, изоляционных свойствах, твердости, теплопроводности и т. д.) содержит в себе каждая вещь. Однако с внешней средой контактируются лишь отдельные качества и свойства вещей. Следовательно, к возникновению того или иного события имеют отношение лишь отдельные их свойства.

В результате события многие качества и свойства вещей претерпевают определенные изменения. При этом событие несет совершенно точную и полную информацию как о факте события, так и тех свойствах и качествах, которые в связи с ним получили вещи, но совершенно не содержит информации о свойствах и качествах вещей до события и об обстоятельствах, вызвавших событие.

Поэтому управление ходом событий требует отделения информации о вещах от самих вещей, так как в результате событий вещь может утратить все те качества и свойства, которые определили данное событие. Эта отделившаяся информация представляет собой определенную форму материи, характеризующую вещь или событие в качестве их гомоморфной (отражающей только существенное) модели, находящейся вне характеризующей ее вещи или события. Эта модель не участвует

в процессе, определившем событие, позволяет установить связь между причиной события и его следствием, что является исходным моментом в управлении процессом.

Материальный процесс — это движение и преобразование предметов труда, информационный — движение и преобразование информации. Первый образует материальные, второй — информационные потоки. Движущиеся в них предметы труда преобразовываются под воздействием средств труда и различных видов энергии. Различие между ними состоит в том, что в материальных процессах продукт, предмет и средства труда в зависимости от их свойств, назначения и цели производства имеют различную потребительную стоимость и несут при этом обильную информацию о себе. В информационных процессах продукт, предмет и средства труда, являясь носителями информации, содержат информацию и о себе, но главное в них, определяющее их потребительную стоимость, — это ценность содержащейся в них информации о других вещах и событиях.

Такое определение информации не претендует на полноту и точность, но вполне достаточно для объяснения информационных процессов.

2. Справочники и сообщения

По роли и месту в информационных процессах информацию можно разделить на два вида: справочную и текущую.

В материальных процессах часть созданного людьми продукта постоянно возвращается в сферу производства, возмещая и расширяя потребляемые производственные фонды, повышая за счет этого производительную силу труда. Чем больше продуктов труда превращается в средства производства, тем более мощным и эффективным становится материальный поток.

В информационных процессах текущая информация о состоянии системы также не исчезает вместе с событием. Она накапливается, остается в производственном процессе, преобразовывается в средство переработки новых сообщений о состоянии системы в сообщения управляющего характера, образует информационные фонды как комплекс знаний, обеспечивающих переработку постоянно растущих потоков текущей информации.

Знания являются принадлежностью человека. Но поскольку идет речь об информации без привязки к носителям, постольку накопленная в виде знаний информация именуется простым словом — справочник. В это понятие входит вся многократно используемая информация, независимо от ее носителя (журнал, книга, магнитная лента, мозг человека и т. д.).

Таким образом, *справочник* — это комплекс информации о конечной цели управления, средствах ее достижения в данной конкретной обстановке, возможных воздействиях на управляемый объект и законах поведения при этом объекте.

Сообщение — это комплекс информации о состоянии объекта или о воздействиях на него. Исходные (первичные) сообщения о состоянии объекта, переработанные посредством справочной информации, превращаются в сообщения управляющие.

Можно провести аналогию между информационными фондами (справочниками и сообщениями), с одной стороны, и производственными фондами (основными и оборотными), с другой. Как основные производственные фонды многократно участвуют в материальных процессах, так и справочники многократно используются в процессах информационных. Как элементы оборотных производственных фондов используются в материальных процессах один раз, получая при этом новое качество, так и сообщения характеризуются однократным их использованием в информационных процессах.

Существенное различие состоит в том, что использование производственных фондов означает их потребление, информация же в информационных процессах только используется, но не потребляется и сохраняется до тех пор, пока она необходима. В отличие от основных фондов информация справочников обычно не подвергается физическому износу, поскольку ценность носителей обычно ничтожно мала по сравнению с ценностью зафиксированной на них информации. Она подвержена главным образом моральному износу, интенсивность которого зависит от того, с какой скоростью обогащаются наши знания в процессах переработки информации.

Сообщения образуют *потоки информации*, характеризующиеся направлением их движения (точка входа — точка выхода) и мощностью (объем информации за еди-

ницу времени). Сущность управления и заключается в переработке потоков информации, преобразований сообщений о состоянии в сообщения управляющие, а также накоплении и совершенствовании информационных фондов.

3. О количественной связи информации справочников с информацией сообщений

Познание — это постепенное преобразование ощущений в качественные, а затем и количественные определенности вещей и явлений. Комплекс знаний, которыми располагает человек, непосредственно связан с информацией, с ее восприятием. Вещь всегда несет одну и ту же информацию о себе, но человек воспринимает только ту, что ему полезна, механизм — лишь ту, для которой он предназначен.

Поэтому одна и та же информация о вещи одним человеком воспринимается, а другим нет: одному она нужна, для другого бесполезна. Один за необходимой информацией обращается к вещи, другой однажды уже воспринял ее, зафиксировал в памяти или любом другом справочнике и при необходимости повторного использования сама вещь как носитель информации его совершенно не интересует.

Как можно оценить информацию о вещах и явлениях, составляющих область наших знаний?

Трудно дать количественную оценку нашим знаниям при нынешнем их высоком уровне, хотя и существует давно известная всем пятибалльная система в школах и вузах, которой мы пользуемся на экзаменах с известной степенью приближения. Но связь и единство меры информации, зафиксированной в виде знаний (или справочных данных), с текущей информацией установить можно.

Предположим, что для нас представляет ценность информация о цифре, написанной на обращенной вверх грани многогранника после его бросания. Но мы не знаем ни числа граней, ни какие цифры написаны на них, ни того, что путем поворота многогранника в определенном порядке можно рассмотреть все его грани, запомнить, какие на нем записаны цифры, а затем с помощью теории вероятностей прогнозировать результаты очеред-

ного бросания. Тогда выход остается один — эксперимент, метод статистических испытаний.

Начинаем эксперимент. После многих испытаний приходим к убеждению, что, кроме цифр $1 \div 6$ (\div означает последовательность всех целых чисел, расположенных в интервале от 1 до 6 включительно), никаких других не появляется. Интерес к опытам постепенно угасает. Мы накопили определенную информацию, превратившуюся в наши знания, установили также связь цифр с формой кубика.

Если после этого встретится новая фигура (например, с восемью гранями и восемью цифрами на них), мы уже не будем производить эксперименты, возможно, проверим только равновероятность выпадания каждой цифры. Более того, после ряда обобщений мы без нового опыта точно определим вероятность выпадания каждой цифры, если на нескольких гранях она будет одна и та же.

Таким образом формируется большая и интересная наука — математическая статистика и теория вероятностей.

Но какая же цифра выпадет при очередном испытании? На этот конкретный вопрос ответ может дать только само испытание. Какой бы процесс познания и накопления информации ни предшествовал бросанию кубика, какими бы совершенными ни оказались математическая статистика и теория вероятностей, мы можем назвать лишь вероятность выпадания каждой цифры. А о факте может свидетельствовать (причем без всякой вероятности, а точно) только текущая информация о событии, результатах очередного испытания. Так как за этим результатом может следовать вполне определенная цепочка закономерных событий, то текущая информация важна для управления не менее справочной. Как материальные процессы производства немислимы без средств или предмета труда, так и информационные процессы немислимы без справочной или текущей информации.

Изобразим только что описанный процесс превращения текущей информации в справочную, предположив, что на всех гранях кубика написана только цифра 1. Первый бросок кубика принесет нам определенную информацию. Принимаем ее количество равным единице. После некоторого количества бросков наш интерес к опытам утрачивается. Мы перестаем ожидать какой-либо но-

вый результат и в конце концов появляется уверенность, что на всех гранях кубика написана единица. Дальнейшие результаты испытаний новой информации по отношению к тому, что уже известно из прежних опытов, не несут.

Эта связь количества информации, формирующей наши знания, с числом испытаний может быть изображена графически (рис. 1). Для этого в системе координат по оси x откладываем порядковые номера испытаний, а по

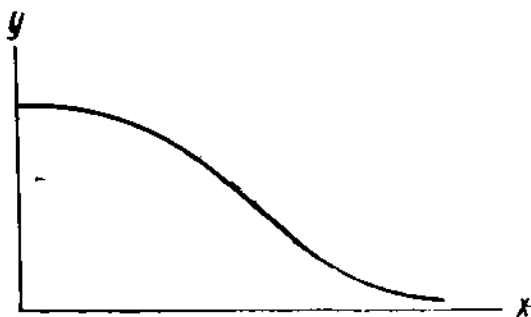


Рис. 1. Изменение количества полезной информации в зависимости от числа повторяющихся исходов опыта

оси y — количество информации, воспринимаемой в результате каждого испытания. Расстояния между двумя соседними испытаниями (ось x) приняты бесконечно малыми, вследствие чего кривая изображается непрерывной линией, а на оси x отложено бесконечно большое количество испытаний. Эта кривая может быть выражена, например, уравнением

$$y = ae^{-ax^2}. \quad (1)$$

Уравнение (1) отражает изложенные выше соображения: в начальный момент количество информации, воспринимаемой после каждого испытания, остается почти на неизменном уровне, затем начинает снижаться и, наконец, приближается к 0.

Чтобы установить, какое количество информации мы восприняли в результате испытаний, необходимо, по-видимому, сложить всю информацию, полученную при каждом испытании, т. е. вычислить площадь фигуры, ограниченной кривой и осями координат. Она может быть определена интегрированием функции y

$$S = \int_0^{\infty} ae^{-\alpha x^2} dx = \frac{a}{2} \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}. \quad (2)$$

Из формулы (2) видно, что накопленная информация имеет предел $\frac{a}{2} \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}$, через который перешагнуть нельзя (независимо от числа опытов).

Принципиально такая же закономерность возникает и во всех других случаях, например, если на шести гранях кубика будет написано шесть или меньше цифр. Различие состоит лишь в том, что интерес к информации о цифрах станет убывать по мере того, как будет крепнуть убеждение, что на кубике написано только шесть определенных цифр, выпадающих с равной или неравной вероятностью.

Эта информация будет, конечно, более емкой, но принципиально не отличающейся от примера с одной цифрой. Общим и главным оказывается то, что в обоих случаях протекал процесс познания, позволивший составить четкое представление о предмете. После этого может интересовать информация о поведении познанной системы лишь в уже известных рамках ее неопределенности. Известно число возможных состояний системы и вероятность каждого из них, но исход каждого конкретного испытания предсказать нельзя. Можно только сказать, что при очередном броске кубик обязательно займет одно из шести возможных положений.

Формула (1) выражает лишь тенденцию. Значения a и α представляют интерес с точки зрения оценки конкретной количественной связи между накопленной и текущей информацией. Однако такая оценка не входит в задачу настоящей работы: в ней лишь констатируется и иллюстрируется факт наличия количественной связи, достаточной для некоторых существенных выводов.

Во-первых, накопленные знания исключают необходимость проведения экспериментов для определения возможных состояний системы при повторении такой же ситуации.

Во-вторых, дальнейшее накопление информации приводит к убеждению в возможности обобщения результа-

тов экспериментов, проводимых в различных ситуациях, и прогнозирования состояний систем без дополнительных экспериментов или при значительном их сокращении.

В-третьих, информация, накопившаяся в виде знаний, передается из поколения в поколение, вследствие чего нет нужды каждому новому поколению повторять все сначала.

Все это определяет непрерывное ускорение темпов технического прогресса. Если, например, историю человеческого общества представить в виде пройденного пути длиной 60 км (10 тыс. лет на каждый километр), то только за 1—2 км до конца пути появляются первые признаки культуры: примитивные орудия первобытного человека, пещерные рисунки, за 300 м — египетские пирамиды и лишь в 5 м от финиша — электрический свет, автомобили, самолеты, атомные взрывы (30, стр. 3).

Знания — это прежде всего память, а память — форма материи, способная воспринимать и выдавать информацию для переработки и использования.

После появления кибернетики и электронной вычислительной техники область накопления знаний значительно расширилась и переходит в новое качественное состояние. До сих пор каждое новое поколение перенимало от своих предшественников знания в виде уже созданной материальной базы, через непосредственные контакты в повседневной жизни специальные формы обучения и фиксированную на различных носителях информацию, главным образом литературу.

Настоящее время является началом периода формирования искусственного мозга. Одно из важнейших отличий его от человеческого состоит в том, что накопленный им опыт может передаваться поколениям не через различные формы обучения, а непосредственно — путем «пересадки». Механический мозг сейчас развит далеко не так, как человеческий, но имеет то преимущество, что его развитие может идти только вперед. Человеческий мозг не вечен. Его нельзя пересадить в здоровый организм, чтобы сохранить все накопившиеся в нем знания. В результате смерть гениальных, талантливых деятелей наносит человеческому обществу тяжелый и подчас невозместимый урон.

Мы все преклоняемся перед гением великого Ленина и хорошо сознаем, что если бы он жил до сих пор,

наши успехи в построении коммунизма были бы еще значительнее.

Мы не знаем, какой из чемпионов мира по шахматам обладает более высоким мастерством — Спасский сейчас или Ботвинник в период расцвета его сил, не можем их сравнить с Капабланкой, Алехиным и другими предыдущими чемпионами мира. Чемпион мира по штанге побеждает не только современников, но и всех своих предшественников. Результат их борьбы определяется по весу поднятой штанги. В интеллектуальных соревнованиях таких эталонов нет. Если Спасский победил Петросяна, это еще не значит, что он играет лучше, чем играл Петросян несколькими годами раньше, поскольку не только смерть, но и возраст, а также многие другие обстоятельства существенно снижают «разрешающую» силу гениального ума.

Искусственный мозг вечен. Не в том смысле, что вечны носители машинной «памяти», а в том, что самое высокое достижение в развитии машинного мозга не может умереть вместе с машиной, оно обязательно переходит в новые образцы машин, развивается в них и требует их дальнейшего непрерывного совершенствования. Человеческий мозг остается «конструктивно» неизменным тысячи лет и обогащается знаниями в пределах данной «конструкции». Искусственный же мозг, хотя еще и не обладает совершенством человеческого, непрерывно, стремительно и беспредельно развивается и не только в рамках определенных конструкций, но и конструктивно. Сформировавшиеся под воздействием текущей информации знания уже не теряются, развиваются вширь и вглубь, достигая все более высокого совершенства. Это, естественно, открывает новые перспективы дальнейшего, невиданного до сих пор повышения темпов развития человеческого общества.

4. Неопределенность, энтропия, разнообразие

Какие бы грандиозные перспективы ни открывались в области развития наших знаний, включая и машинные их носители, легче освещать эти перспективы, чем ответить на такой простой вопрос: какой цифрой вверх ляжет кубик при очередном его бросании? Если бы даже удалось изучить все действующие на кубик силы, их влияние

и заранее определить результат, то следует забраковать такой кубик как датчик случайных чисел и способ его бросания, принять меры к тому, чтобы устранить силы, заранее определяющие положение кубика на плоскости. Ведь случайность явлений иногда становится главным качественным параметром системы (например, в устройствах, используемых при розыгрышах лотерей).

Кроме того, информация о событиях нас интересует не просто из любопытства, а в связи с необходимостью управлять ходом событий. В ряде случаев можно располагать всей информацией, необходимой для принятия точного решения об управляющем воздействии, обеспечивающем перевод системы в требуемое состояние. Однако это достигается в пределах вполне определенной точности замеров. Такая точность не беспредельна, и в связи с неизбежным накоплением ошибок для принятия последующих решений необходимо получение новой информации о состоянии системы.

С другой стороны, принятие решения об управляющем воздействии, переводящем систему в требуемое состояние из любого ее состояния, может оказаться проще, чем сбор точной информации о ее состоянии. Поэтому совершенствование знаний определяется не только все более глубоким и точным познанием фактического состояния вещей и явлений, но и выбором управляющих воздействий, наилучшим образом переводящих систему в заданное состояние из любого фактического ее состояния при небеспредельно точной информации о фактическом положении дел.

Практика всегда оставляет место для *неопределенности* исхода очередного опыта. Мера такой неопределенности, мера статистического разнообразия исходов опыта именуется *энтропией*. Сообщение об исходе опыта снимает неопределенность, доставляя количество информации, равное уменьшению энтропии. Следовательно, энтропия есть мера недостающей информации о состоянии системы.

Однако сообщение об этом совершенно не вносит определенности в дальнейшее состояние системы при тех же воздействиях на нее и, стало быть, не устраняет неопределенности последующих опытов. Следовательно, при наличии вполне определенной конечной цели управления и неопределенности промежуточных состояний

системы каждому ее состоянию должно соответствовать свое управляющее воздействие, направляющее систему к заданной цели. Поэтому управляющая система должна располагать соответствующим *разнообразием* управляющих воздействий.

Информация о совокупности возможных состояний системы при воздействиях на нее и о разнообразии возможных воздействий относится к области наших знаний — к справочной информации. Информация же о состоянии системы в момент получения информации, снимающая неопределенность состояния, относится к текущей информации, или к сообщению. Ниже рассматриваются вопросы измерения количества информации, касающиеся только сообщений.

5. Мера информации

Предположим, что имеется некоторое множество возможных событий, вероятность осуществления которых суть p_1, p_2, \dots, p_n . Можно ли найти меру, позволяющую определить насколько велик «выбор» из такого набора событий или сколь неопределенен его исход, т. е. определить энтропию? Поскольку энтропия снимается информацией сообщений, необходимо рассмотреть вопросы измерения такой информации.

Измерение всегда конкретно и направлено на выяснение взаимосвязи вещей и явлений. Если, например, изучается какая-либо вещь, она, во-первых, выделяется из всей окружающей ее материальной среды, во-вторых, обязательно измеряется для выявления ее сопряжения с другими столь же конкретными вещами. Расход энергии измеряется не вообще, а в конкретных точках и с определенной целью, независимо от качества и количества источников энергии, числа точек ее потребления.

Информация сообщений также измеряется лишь в той мере, в какой она передается от одной инстанции к другой. При этом сущность самого сообщения, его семантические аспекты не имеют значения. «Существенно лишь, — указывает, например, К. Шеннон, — что посылаемое сообщение является сообщением, выбранным из некоторого множества возможных сообщений» (41, стр. 243—244). Такое сообщение называется дискретным*.

* От латинского *discretus* — раздельный, прерывистый.

В математике обычно рассматриваются непрерывные функции, отражающие количественные изменения явлений. В дискретных функциях переменные величины выражают не столько количественные, сколько качественные изменения аргумента. Когда аргумент 1 изменяется на аргумент 2, это не означает увеличение. Это значит, что вместо качества 1 рассматривается качество 2. Каждое промежуточное качество между 1 и 2 может получить любое обозначение x , и условие $1 < x < 2$ при этом не обязательно.

Если, например, в комнате имеется шесть электрических лампочек и самостоятельно включается лишь одна из них, то переменная x примет только одно значение из семи (седьмое значение — все лампочки выключены). Это могут быть цифры $0 \div 6$, буквы русского алфавита $A \div Ж$, имена (Коля, Ваня, Лена и т. д.) или любые другие обозначения, количество которых равно 7. Промежуточных значений между ними никаких нет.

Если же все лампочки включаются одновременно, то независимо от их количества аргумент принимает только два значения, например, $x_1 = 1$ (включены) и $x_2 = 0$ (выключены). Такое же количество переменных получим, если нас будет интересовать всего два качественных состояния: включена или не включена хотя бы одна лампочка из всех (безразлично какая). Все переменные в данных случаях выражают изменения качественные, отвечая на вопрос «что», а не «сколько».

Переменная величина *дискретна*, если совокупность возможных ее значений конечна или, по крайней мере, поддается счислению. *Непрерывные* же функции получают бесконечно малые приращения при бесконечно малых приращениях аргумента, вследствие чего совокупность возможных значений функции не только неконечна, но и не поддается счислению.

Один и тот же аргумент часто может занимать место как в дискретных, так и в непрерывных функциях. Предположим, мы получили сообщение, что интересующий нас человек находится на четвертом этаже здания. Если это сообщение ценно тем, что указывает нахождение человека именно на четвертом этаже из пяти имеющихся, а не достигнутую им высоту подъема, то такое сообщение дискретно. Если же человек поднимается по склону горы и стало известно, что он достиг высоты

четырёхэтажного дома, то такое сообщение не является дискретным. В данном случае этаж превращается в единицу измерения непрерывно меняющейся высоты подъёма человека и сводится лишь к точности замера: фиксировать ли в следующий раз высоту подъёма, равную пяти этажам, 4, 1; 4,01 этажа и т. д.

Примером непрерывности и дискретности может служить различие в технологических процессах. В паровом котле пар образуется непрерывно, а не какими-либо порциями. Химические процессы также протекают непрерывно. В машиностроении, в деревообработке, производстве стройдеталей и т. д. технологический процесс протекает непрерывно, но продукт появляется периодически. Когда, например, будущий ротор турбины поступает из заготовительного цеха на обработку, то прекращая свое существование в виде заготовки, он длительное время не превращается в деталь. Пока протекает процесс обработки, нет ни исходного состояния продукта, ни конечного. В соответствии с этим производство делится на непрерывное и дискретное.

Для измерения количества информации принята единица бит (происходит от английских слов binary digit), что означает двоичный разряд. «Прибор с двумя устойчивыми состояниями, — пишет К. Шеннон, — такой, как реле или мультивибратор, может хранить один бит информации» (41, стр. 244). Таким образом, *единица измерения информации бит представляет собой одно из двух возможных состояний носителя информации, передающих сообщение об одном из двух равновероятных состояний системы.*

Состояния системы могут характеризоваться множеством данных, но вся эта информация относится к нашим знаниям системы. Если система может иметь только два состояния А и Б, сообщение о том, что она находится в состоянии А или Б, несет всего один бит информации, независимо от того, сколько требуется информации для описания каждого из состояний. Если же система может находиться только в одном состоянии (на всех гранях кубика, например, написана лишь одна цифра, а других отличающих грани признаков нет), то информация сообщения о ее положении равна 0.

Все признаки, характеризующие состояние системы, имеют изменяющуюся во времени и пространстве опре-

деленность — цвет, число, название, форму, координаты, температуру, скорость, вес и т. д. В изменении качественной и количественной определенности признаков выражается подвижность системы, а каждая фиксируемая наблюдением определенность носит название события.

События, относящиеся к какому-либо одному признаку, называются *простыми*. Их совокупность по данному признаку образует полную группу несовместных событий. В полную группу входят все события, описывающие любое состояние системы по данному признаку. Несовместные события означают, что в конкретный момент может иметь место лишь одно событие полной группы. Если состояния системы в любой момент характеризуются только одним признаком, то простые события по этому признаку определяют и состояния всей системы.

Обычно состояния системы характеризуются многими признаками и каждому из состояний соответствует определенное сочетание простых событий. Эти сочетания образуют *сложные* события. Если в рассматриваемой системе простые события нельзя разложить на части, то их называют *элементарными*.

В природе не бывает элементарных событий, т. е. таких вещей, явлений и процессов, которые характеризуются только одним каким-либо признаком или не могут рассматриваться по частям. В абстрактном виде к элементарным событиям можно отнести только те события, вероятность которых равна нулю, т. е. и в этом плане их не существует. Поэтому отнесение события к сложному, простому или элементарному является условным, определяется лишь его местом в конкретной информационной модели сложного события и действительно только для этой модели.

Рассмотрим как в общем случае выражается в битах объем информации, содержащейся в сообщении о простых и сложных событиях.

Простые события

Предположим, что система может находиться в четырех различных состояниях, и обозначим различные состояния реле через 1 (замкнуто) и 0 (разомкнуто). Очевидно, что для характеристики любого из событий (состояний системы) достаточно иметь два реле (табл. 1).

Таблица 1

События	Состояния реле	
	I	II
I	0	0
II	0	1
III	1	0
IV	1	1

Таблица 2

События	Состояния реле		
	I	II	III
I	0	0	0
II	0	0	1
III	0	1	0
IV	0	1	1
V	1	0	0
VI	1	0	1
VII	1	1	0
VIII	1	1	1

При пяти возможных событиях (состояниях системы) два реле оказались бы недостаточными и потребовалось бы третье, с которым можно было бы выразить не только пять, но и восемь различных событий (табл. 2).

Переходя от состояния реле к битам, можно сказать, что для сообщения о событиях при четырех возможных состояниях системы необходимы 2, при восьми — 3 бита информации. Если продолжить рассуждения, то можно заметить, что связь возможного числа событий с выраженным в битах количеством информации, необходимой для сообщения о каждом из событий, определяется формулой $2^m = N$, где 2 — количество возможных состояний каждого реле; m — количество реле, необходимое для характеристики каждого из событий, или количество бит информации в сообщении о событии; N — общее количество возможных событий.

Отсюда $m \log_2 2 = \log_2 N$. Так как $\log_2 2 = 1$, то

$$m = \log_2 N \quad (3)$$

или же

$$m = -\log_2 p, \quad (4)$$

где $p = 1/N$ представляет собой вероятность каждого из событий.

Формулы (3) и (4) отражают частный случай — равновероятность исхода опытов, случай, когда каждое событие одинаково возможно, в одинаковой мере характеризует систему и, следовательно, приносит одно и то же количество информации.

При неравновероятных событиях сообщения о редких случаях несут больше информации по сравнению с часто повторяющимися. В то же время информация сообщений о часто повторяющихся событиях более полно и точно характеризует саму систему. Если, например, на пяти гранях кубика написана цифра 1, а на одной — 2, то сообщение о цифре 2 представляет больший интерес, несет больше информации о событии. Цифра 1 вызывает меньший интерес, несет меньше информации, но более полно характеризует систему, так как повторяется в среднем 5 раз из шести бросков. Факт движения автомобилей по улицам города не вызывает особого интереса у прохожих, но достаточно случиться аварии, как люди сбегаются к месту происшествия и, переполненные информацией о редком событии, несут ее во все концы города. В целом же система городского транспорта характеризуется движением машин, а не их авариями, и чем надежнее эта система, тем ниже неопределенность результата ее наблюдения, стало быть, меньше и энтропия.

Предположим, что вероятности всех k возможных событий различны и равны: p_1, p_2, \dots, p_k и априори (наперед) известны. После проведения N наблюдений, т. е. апостериори, становятся известными их результаты. Тогда количество информации, извлеченной из апостериорного значения, будет равно разнице между информацией, полученной за N наблюдений, и информацией, имевшейся до них.

Количество информации, получаемой за одно наблюдение, согласно формуле (3), составляет $m = \log_2 N$, а за N наблюдений — $m_N = N \log_2 N$.

Априори было известно, что за N наблюдений, если N достаточно велико, сообщение о каждом i -том событии ($i=1, 2, 3, \dots, k$) поступит $p_i N$ раз и, следовательно, коли-

чество априори известной информации $m_H = \sum_{i=1}^k p_i N \log_2 p_i N$.

Таким образом, количество новой информации, извлеченной из апостериорного значения, составит $m_H = m_N - m_H =$

$$= N \log_2 N - \sum_{i=1}^k p_i N \log_2 p_i N.$$

Учитывая, что всегда $\sum p_i = 1$, можно представить N как $\sum_{i=1}^k p_i N$ и тогда $m_H = \sum_{i=1}^k p_i N \log_2 N - \sum_{i=1}^k p_i N \log_2 p_i N$, или

$$m_H = \sum_{i=1}^k (p_i N \log_2 N - p_i N \log_2 p_i N).$$

Так как $\log_2 p_i N = \log_2 p_i + \log_2 N$, получим $m_H =$

$$= \sum_{i=1}^k - p_i N \log_2 p_i = -N \sum_{i=1}^k p_i \log_2 p_i.$$

Среднее количество информации, извлекаемой из апостериорного значения одного наблюдения, $m_{cp} = \frac{m_H}{N}$, или

$$m_{cp} = - \sum_{i=1}^k p_i \log_2 p_i. \quad (5)$$

По формуле (5) определяется среднее количество информации в сообщениях при неравновероятных исходах испытаний. Легко заметить, что при равновероятности исходов формула (5) превращается в формулу (4), поскольку сумма всех p_i всегда равна 1 и каждое $p_i = p$.

Из формулы (5) видно, что среднее количество информации в битах в дискретном сообщении о простом событии определяется как отрицательная сумма вероятностей всех возможных событий, умноженных на их двоичные логарифмы. Количество информации выше среднего приходится на события, вероятность которых ниже, т. е. подтверждается высказанное ранее интуитивное суждение о более высокой информационной емкости редких событий. Формулой (5) подтверждается также отмеченная выше более низкая неопределенность систем с более высокой вероятностью событий. Поскольку вероятность одних событий повышается за счет снижения вероятности других (так как сумма всех вероятностей равна 1), энтропия становится тем ниже, чем менее равновероятны события, а максимума она достигает при равновероятности всех событий.

На рис. 2 приведена кривая, характеризующая изменение энтропии для двух возможных исходов опыта с

вероятностями p_1 и p_2 . Из рисунка видно, что при $p_1=0$ энтропия получает наименьшее значение (0), поскольку $p_2=1$ и, следовательно, разница между $p_2=1$ и $p_1=0$ достигает наибольшего значения (1). То же происходит при $p_1=1$. Наибольшего значения (1) энтропия достигает при $p_1=p_2=0,5$ и соответственно $p_1-p_2=0$.

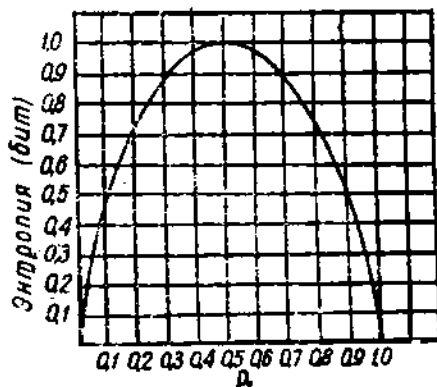


Рис. 2. Энтропия опыта в случае двух возможных его исходов с вероятностями p_1 и p_2 ($p_2=1-p_1$)

Пусть система имеет четыре возможных состояния. Их вероятности: $p_1 = \frac{1}{8}$; $p_2 = \frac{1}{8}$; $p_3 = \frac{1}{4}$; $p_4 = \frac{1}{2}$. Тогда

$$m_{\text{ср}} = - \left(\frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} + \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} + \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} \right) = \frac{14}{8} = 1,75 \text{ бита.}$$

Если предположить, что за восемь наблюдений все события зафиксированы с частотами, соответствующими их вероятностям, то все восемь наблюдений принесут следующее количество информации:

$$m_8 = - \left(\log_2 \frac{1}{8} + \log_2 \frac{1}{8} + 2 \log_2 \frac{1}{4} + 4 \log_2 \frac{1}{2} \right) = 3 + 3 + 4 + 4 = 14 \text{ бит.}$$

Из выраже-

ния видно, что сообщения о первом и втором событиях поступили по одному разу и каждое из них принесло по 3 бита информации. Сообщение о третьем событии поступило два раза и за оба раза принесло 4, а за каждый раз — по 2 бита информации, в два раза меньше, чем в сообщениях о первом и втором событиях. Вероятность же третьего события в два раза выше, чем первых двух. Сообщение о четвертом событии поступило четыре раза и каждый раз приносило еще меньше информации — по 1 биту.

Если бы все четыре события были равновероятными, то количество информации, приносимое каждым из них, составило $m_{\text{ср}} = -\log_2 \frac{1}{4} = 2$ бита. Это свидетельствует о росте

энтропии как меры неопределенности системы по сравнению со случаем неравновероятного исхода наблюдений.

Формулы (3), (4) и (5) отражают двоичную систему исчисления. Они позволяют определить количество двоичных разрядов, необходимых для того, чтобы присвоить в двоичной системе номера всем возможным событиям, т. е. дать каждому возможному событию свой номер, выраженный в двоичных разрядах. В общем виде каждое возможное событие может получить название или слово, выраженное любыми символами.

Под словом подразумевается *конечная последовательность символов*, взятых из данного алфавита (перечня). В рассматриваемом случае алфавит состоит из двух цифр: 0 и 1. Тем не менее, их уже достаточно для того, чтобы каждое событие при каком угодно большом конечном их числе именовалось своим словом. Слово 100101, например, при переводе в десятичную систему означает событие № 37. При данной длине слова (шесть двоичных знаков) можно пронумеровать 64 различных события.

Сообщения о событиях передаются посредством сигналов, под которыми подразумевается любая последовательность действий, выражающих сообщение любой длины. Так, 1 в двоичном алфавите может быть передана электрическим импульсом, а 0 — отсутствием импульса; в телеграфе символы передаются посредством различной длительности периодов замыкания и размыкания линии (точка — время замыкания и размыкания = t ; тире — время замыкания = $3t$, размыкания = t , пробел между буквами — время размыкания = $3t$, между словами = $6t$); в телетайпе все символы передаются комбинациями пяти импульсов равной длительности, вследствие чего каждый символ несет 5 бит информации. Сообщение о событии № 37 (из 64 возможных) в двоичной системе может быть передано последовательностью импульсов, изображенной на рис. 3. *Среда, используемая для передачи сигнала от передатчика к приемнику, называется каналом связи.*

При использовании в качестве алфавита десятичных разрядов меняется единица информации, а длина слова

выражается той же формулой (3), что и в битах, но логарифм меняется с двоичного на десятичный:

$$m_{10} = \log_{10} N. \quad (4a)$$

При любом другом алфавите все различие сводится к основанию логарифма.

Из формулы (4a) видно, что $m_{10} = 1$ при $N = 10$. В двоичной системе при $N = 10$ $m_2 = \log_2 10 = 3,32$. Это значит,

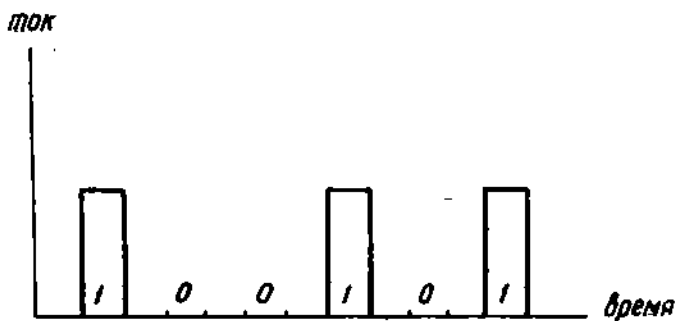


Рис. 3. Последовательность импульсов тока и пауз (сигнал), выражающих событие 100101

что одна десятичная единица информации содержит примерно $3 \frac{1}{3}$ бита.

Количество информации может измеряться различными, но обязательно соизмеримыми между собой единицами. При взвешивании, например, можно принимать за единицу веса граммы, килограммы, тонны, фунты, пуды и многие другие единицы, между которыми существует вполне определенная количественная связь. В информационных процессах в качестве единиц информации принимаются в быту главным образом буквы и десятичные цифры, в технике — биты, в некоторых теоретических исследованиях — ниты (или наты), характеризующиеся использованием натуральных логарифмов с основанием $e = 2,718$; в механизированной обработке экономической информации — различные информационные совокупности.

Недискретные величины

Наблюдение состояния систем выражается в определении событий не только с качественной, но и количественной стороны. Если качество выражается дискретными

символами, то количественная мера этого качества — величина того или иного его параметра — может в известных пределах принимать любое значение. Возникает вопрос: как измеряется количество информации сообщений о результатах замеров величин в непрерывных процессах?

Прежде всего отметим, что и при дискретных сообщениях обязательно наличие некоторых знаний об исследуемой системе. Бросая кубик с цифрами, мы знаем, что число возможных событий равно шести. Измеряя скорость движения автомобиля, мы знаем, что ее величина колеблется в пределах, скажем, между 0 и 140 км в час. Как в первом случае наблюдение приносит информацию об одном из возможных событий, так и во втором замер показывает одну из известных априори величин.

Пределом точности измерения количества или величины материальных вещей также является дискретная величина. Количество людей, например, может измеряться миллионами, причем после целого числа миллионов могут идти десятые, сотые, тысячные и т. д. Но десяти-миллионная часть миллиона человек теряет смысл, так как уже самого человека разделяет на части, представляющие собой иную, отличную от человека качественную определенность.

То же самое можно сказать о весе вещества. Точность его взвешивания ограничивается молекулярным весом, так как дальнейшее членение меняет природу самого вещества. «Представление об отдельных дискретных видах материи, связанных между собой как элемент системы со всей системой,— подчеркивается в статье академика Б. Кедрова «В. И. Ленин и современное естествознание»,— имеет своей основой представление о них как о весах на бесконечном пути познания» (34, 1968, 11 ноября).

Труднее вести сейчас речь о дискретности времени, пространства, скорости, силы и т. д. Тем не менее и их величины получают дискретную меру в связи с ограничениями точности замера, определяемыми физическими возможностями или экономической целесообразностью. Если, например, шкала спидометра автомобиля градуирована так, что на каждое расстояние между ее делениями приходится 5 км/час (0, 5, 10, 15 и т. д.— до 140), то стрелка прибора может указать только ограниченное число выборов — $140 : 5 = 28$.

Следовательно, любое сообщение о состоянии непрерывного процесса можно рассматривать только как дискретное, передающее информацию об одном событии из конечного множества возможных. При рассмотрении вопросов измерения недискретной величины одного из параметров это позволяет воспользоваться всеми рассуждениями и выводами для простого события. Количество возможных событий в составе их полной группы определяется при этом известным интервалом величин и точностью их замера.

Обозначим известную нам область состояний (от 0 до 140 км/час) через I . Это значит, что наблюдаемая нами величина находится в интервале от 0 до 1. В данном примере все скорости ниже 0 принимаются за 0, а выше 140 — за 1. Действительная величина, полученная в результате замера, находится, следовательно, между 0 и 1 и составляет вполне определенную долю I .

Выразим эту долю бесконечной десятичной дробью $0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$, где каждое $a = 0 \div 9$. Тогда $0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_n = 0 + 10^{-1} a_1 + 10^{-2} a_2 + 10^{-3} a_3 + \dots + 10^{-n} a_n$.

Если $n \rightarrow \infty$, то точность и вытекающее из этого количество информации также бесконечны.

Однако в действительности никакие измерения не производятся абсолютно точно. Всегда есть предел.

Если измерение имеет равномерно распределенную ошибку, лежащую в интервале длины $0, b_1, b_2, b_3, \dots, b_k \dots b_n = 0 + 10^{-1} b_1 + 10^{-2} b_2 + 10^{-3} b_3 + \dots + 10^{-k} b_k + \dots + 10^{-n} b_n$, (b_k — первый разряд, отличный от 0), то, очевидно, все решения от a , до a_{k-1} (возможно и до a_k) будут значащими, а все остальные нет.

Это значит, что число десятичных знаков, необходимое для выражения числа a с точностью b , составит $s_{10} = -\log 0, 0 \dots b_k$.

Это и есть количество информации для выражения длины, если за единицу информации принять один десятичный разряд.

Однако десятичный разряд выражает различные величины и сам содержит известное количество бит информации. Поэтому целесообразно выразить те же данные в двоичной системе счисления, где существуют лишь два значения 1 или 0, «да» или «нет» и никаких промежуточных значений между ними нет.

В двоичной системе число $0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ будет выглядеть так: $0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_n = 0 + 2^{-1} a_1 + 2^{-2} a_2 + 2^{-3} a_3 + \dots + 2^{-n} a_n$, а число двоичных знаков, необходимых для выражения числа a с точностью b_k , — $s_2 = \lceil \log_2 0, 0, \dots, b_k \rceil$, где b_k , как и в предшествующем случае, — последний значащий двоичный разряд в числе $0, a_1, a_2, a_3 \dots a_k$.

Предположим, что стрелка спидометра находится в интервале шкалы от 80 до 85 км/час. Поскольку все возможные показания прибора (от 0 до 140) приняты за единицу, стрелка в этой единице находится в пределах от $\frac{80}{140} = 0,5714$ до $\frac{85}{140} = 0,6071$, а точность замера $\frac{5}{140} = \frac{1}{28} = 0,0357$. Следовательно, количество информации в данном сообщении о положении стрелки спидометра при известном диапазоне скоростей (от 0 до 140) и равновероятном положении стрелки в любом месте шкалы составит $m = -\log_2 \frac{1}{28} = 4,8$ бита.

Однако результат замера по величине обычно не равновероятен. При движении автомобиля стрелка спидометра редко находится в пределах от 0 до 5 км/час и

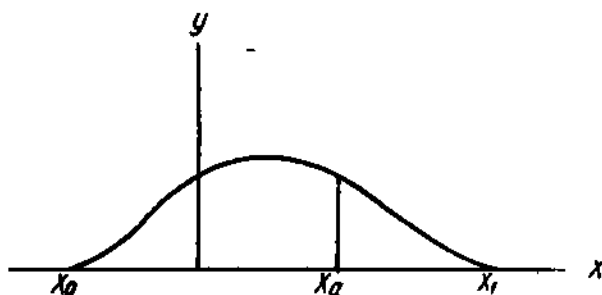


Рис. 4. Плотность вероятности

почти никогда не достигает 135—140 км/час. Обычное ее место — между 40 и 100 км/час. В общем виде вероятность получения той или иной величины при замерах может быть выражена непрерывной функцией $y=f(x)$, где y — плотность вероятности (рис. 4).

Здесь, как и при дискретных событиях, априори известно, что некоторая переменная x лежит в диапазоне от x_0 до x_1 , принимаемом за 1, а апостериори устанавливаем, что она находится в области точки x_a внутри интервала 0—1. При большом количестве замеров каждый из них дает тот или иной результат с частотой, соответствующей его вероятности. Следовательно, среднее количество информации, приносимой каждым замером, может определяться по формуле (5) как предел m_{cp} при $i \rightarrow \infty$.

Тогда формула (5) может быть записана в следующем виде:

$$m_{cp} = \left\{ - \sum_i p(x_i) \Delta x_i \log_2 [p(x_i) \Delta x_i] \right\},$$

где $p(x_i) \Delta x_i$ — вероятность нахождения некоторой величины между x_i и x_{i+1} .

Преобразуем эту формулу

$$\begin{aligned} m_{cp} &= \lim_{\Delta x_i \rightarrow 0} \left\{ - \sum_i [p(x_i) \Delta x_i \log_2 p(x_i) + p(x_i) \Delta x_i \log_2 \Delta x_i] \right\} = \\ &= \lim_{\Delta x_i \rightarrow 0} \left\{ - \sum_i p(x_i) [\log_2 p(x_i)] \Delta x_i \right\} + \\ &+ \lim_{\Delta x_i \rightarrow 0} \left\{ - \sum_i p(x_i) (\log_2 \Delta x_i) \Delta x_i \right\}. \end{aligned}$$

Учитывая, что $\lim_{\Delta x_i \rightarrow 0} p(x_i) = y = f(x)$, а $\lim_{\Delta x_i \rightarrow 0} \Delta x_i = dx$, и считая все $\Delta x_i = \Delta x$, если $\Delta x_i \rightarrow 0$, можно записать

$$m_{cp} = - \int_{x_0}^{x_1} f(x) [\log_2 f(x)] dx - \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left[\log_2 \Delta x \int_{x_0}^{x_1} f(x) dx \right].$$

Так как сумма всех вероятностей, в том числе и

$$\int_{x_0}^{x_1} f(x) dx,$$

всегда равна 1, окончательно получим

$$m_{cp} = - \int_{x_0}^{x_1} f(x) [\log_2 f(x)] dx - \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \log_2 \Delta x. \quad (6)$$

Из формулы видно, что если $x \rightarrow 0$, то $m_{cp} \rightarrow \infty$, поскольку $\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \log_2 \Delta x = -\infty$. Следовательно, утверждение о бесконечно большом количестве информации при бесконечно малом допуске на точность замера действительно при

любой функции плотности вероятности — $y = f(x)$. При конечной точности замера, характеризуемой числом $0,00 \dots b_k$ (b_k — первый двоичный разряд, отличный от 0) и учете того, что $f(x)$ (следовательно, и действительная величина

$\int_{x_0}^{x_1} f(x) [\log_2 f(x)] dx$) не зависит от точности замера, формула (6) может быть представлена в следующем виде:

$$m_{\text{ср}} = -\log_2 0,00 \dots b_k - \int_{x_0}^{x_1} f(x) [\log_2 f(x)] dx.$$

Таким образом, среднее количество информации в битах в сообщении о результате замера величины, лежащей в заранее известном пределе (от x_0 до x_1), равно количеству информации в одном замере, зависящем только от точности замера, минус некоторая величина, определяемая функцией плотности вероятности, равная интегралу всех отличных от 0 значений функции, умноженных на их двоичные логарифмы.

Принимая диапазон измерений за 1 ($x_0 = 0$, $x_1 = 1$) и упрощая выражение, получим

$$m_{\text{ср}} = -\log_2 \Delta x - M, \quad (7)$$

где $\Delta x = 0,00 \dots b_k$ — точность измерения в долях от интервала возможных колебаний измеряемой величины (доля от $x_1 - x_0$); $M = \int_{x_0=0}^{x_1=1} f(x) [\log_2 f(x)] dx$ — количество информации, связанной с функцией плотности вероятности измеряемой величины.

Из формулы (7) видно, что если $f(x)$ постоянна в интервале от 0 до 1 и равна 0 за его пределами (это означает равновероятность всех возможных результатов измерения в пределах от 0 до 1), то

$$\begin{aligned} M &= \int_0^1 f(x) [\log_2 f(x)] dx = \\ &= f(x) [\log_2 f(x) x] \Big|_0^1 = \log_2 1 - 0 = 0, \end{aligned}$$

а $m_{\text{ср}}$ получает наибольшее значение. Таким образом, можно снова провести аналогию с дискретными сообщениями

среднее количество информации в которых оказывается наибольшим при равновероятных событиях.

Возвращаясь к примеру со спидометром автомобиля и принимая функцию плотности вероятности в виде $y = 2 \sin^2 \pi x$, единственным основанием которой является то, что

$$\int_0^1 2 \sin^2 \pi x dx = 1, \text{ получим}$$

$$\int_0^1 2 \sin^2 \pi x (\log_2 2 \sin^2 \pi x) dx \approx 0,44 \text{ бита.}$$

Тогда по формуле (7) среднее количество информации в одном сообщении о положении стрелки спидометра составит

$$\begin{aligned} m_{\text{ср}} &= -\log_2 \frac{1}{28} - \int_0^1 2 \sin^2 \pi x (\log_2 2 \sin^2 \pi x) dx = \\ &= 4,8 - 0,44 = 4,36 \text{ бита.} \end{aligned}$$

Заметим, что обычно в литературе при определении количества информации сообщений с непрерывной функцией плотности вероятности также проводится аналогия с дискретными сообщениями. Однако результат получается иной. Слагаемое, определяемое точностью измерения, без всяких на то оснований отбрасывается.

К. Шеннон, например, переходя от дискретных сообщений к непрерывным функциям, пишет: «Энтропия дискретного множества вероятностей p_1, \dots, p_n была определена как $H = -\sum p_i \log p_i$.

Аналогичным образом определим энтропию непрерывного распределения с функцией плотности распределения $p(x)$ как

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log p(x) dx \quad (41, \text{ стр. 296}).$$

Аналогия требует ввести в выражение энтропии не $\log p(x)$, а $\log [p(x) dx]$, что не одно и то же. Пренебрегая этим различием и используя полученный результат во всех своих последующих расчетах, К. Шеннон, видимо, пользовался не совсем аналогичной формулой.

У Винера сказано следующее: «Так как $f_1(x)$ есть плотность вероятности, то

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_1(x) dx = 1.$$

Поэтому средний логарифм ширины области, расположенной под кривой $f_1(x)$, можно принять за некоторое среднее значение высоты логарифма обратной величины функции $f_1(x)$. Таким образом, разумной мерой количества информации, связанного с кривой $f_1(x)$, может служить

$$\int_{-\infty}^{\infty} [\log_2 f_1(x)] f_1(x) dx \quad (12, \text{ стр. 117}).$$

Что такое средний логарифм, высота логарифма, разумная мера и т. д., понять трудно. Можно было подумать, что неясности порождены неточностями перевода. Однако редактор перевода Г. Н. Поваров, видимо, тщательно изучил это место, добросовестно пытаясь осмыслить его, но в конечном счете должен был дать к нему примечание, в котором излагаются догадки о ходе мыслей автора, определяющих происхождение указанной формулы.

Ст. Голдман в своих трудах обратил внимание на появление бесконечного слагаемого при выводе формулы энтропии для непрерывных функций путем аналогии с дискретными множествами. «Возникающее при таком выводе энтропии бесконечное слагаемое,— указывает он,— может навести на мысль о непригодности понятия энтропия в случае непрерывных распределений. Однако по счастливой случайности это не так. Дело в том, что при использовании энтропии в теории информации непрерывных сообщений одно и то же бесконечное слагаемое обязательно фигурирует во всяком выражении дважды: один раз со знаком (+) и второй — со знаком (—); таким образом это слагаемое всегда уничтожается.

Поэтому мы можем определить энтропию просто как

$$H = - \int p(x) \log_2 p(x) dx \quad (16, \text{ стр. 150—151}).$$

Трудно догадаться, откуда взялась такая счастливая случайность, что одно и то же слагаемое фигурирует

дважды, уничтожая само себя. По-видимому, от этого слагаемого не отмахнуться, и оно должно занять свое место в выражении энтропии, что и отражено в формуле (7). Оно может отсутствовать только в том случае, если точность замера определяется не равномерной шкалой во всем интервале возможных значений ($\Delta x = \text{const}$), а шкалой, градуированной так, что для любых ее отрезков, расположенных между соседними делениями ($\Delta x_i = x_i - x_{i-1}$), попадание измеряемой величины равновероятно, т. е. если для каждого

$$\Delta x_i p_i = \int_{x_{i-1}}^{x_i} y dx = \text{const.}$$

Сложные события

Простые события в составе сложных связаны между собой как по *горизонтали*, так и *вертикали*, образуя иерархическое построение сложных событий.

Связь по горизонтали выражается в том, что каждое простое событие принадлежит к самостоятельной полной группе несовместных событий, любое из них независимо от других выражает одну из сторон сложного события (состояния системы), хотя в целом сложное событие и определяется всеми его составляющими.

Связь по вертикали выражается в том, что вероятность одних событий зависит от того, произошли ли некоторые другие события. Первые называются зависимыми событиями, вторые могут быть независимыми или зависеть от третьих событий. Зависимые события также принадлежат к какой-либо полной группе несовместных событий, а совокупность групп в свою очередь составляет полную группу несовместных событий, занимающую по отношению к первым более высокий уровень.

Таким образом, простое событие является простым только на своем уровне. Для более низкого уровня оно может представлять полную группу несовместных событий более низкого уровня. Ветви иерархического построения сложного события заканчиваются различными совокупностями элементарных событий.

Пусть состояние системы определяется одновременно двумя кубиками. Первый на одной из граней имеет цифру 1, на двух — цифру 2, на трех — цифру 3. Две грани

Выбор граней				Состояние системы	
I кубика		II кубика		название	вероятн. (гр. 2 × гр. 4)
название	вероятн.	название	вероятн.		
1	2	3	4	5	6
1	1/6	б	2/6	I	8/36
2	2/6	б	2/6	II	4/36
3	3/6	б	2/6	III	6/36
1	1/6	ч	4/6	IV	4/36
2	2/6	ч	4/6	V	6/36
3	3/6	ч	4/6	VI	12/36

второго кубика окрашены в белый, четыре — в черный цвет. При бросании первого кубика могут иметь место три, при бросании второго — два простых события, а состояние системы в целом характеризуется шестью сложными событиями. Все события и их вероятности приведены в табл. 3.

По данным табл. 3 и формуле (5), среднее количество информации в сообщении о состоянии первого кубика составляет

$$m_1 = - \left(\frac{1}{6} \log_2 \frac{1}{6} + \frac{2}{6} \log_2 \frac{2}{6} + \frac{3}{6} \log_2 \frac{3}{6} \right) = 1,46 \text{ бита};$$

второго кубика —

$$m_2 = - \left(\frac{2}{6} \log_2 \frac{2}{6} + \frac{4}{6} \log_2 \frac{4}{6} \right) = 0,92 \text{ бита};$$

системы в целом (если рассматривать ее состояния как простые, принадлежащие к одной полной группе несовместные события нижнего уровня, имеющие вероятности, указанные в гр. 6 табл. 3) —

$$m_{\text{ср}} = - \left(\frac{2}{36} \log_2 \frac{2}{36} + \frac{4}{36} \log_2 \frac{4}{36} + \frac{6}{36} \log_2 \frac{6}{36} + \frac{4}{36} \log_2 \frac{4}{36} + \frac{8}{36} \log_2 \frac{8}{36} + \frac{12}{36} \log_2 \frac{12}{36} \right) = 2,38 \text{ бита}.$$

Полученные результаты показывают, что среднее количество информации в сообщении о положении двух кубиков равно ее количеству в сообщениях о положениях каждого кубика в отдельности. Это легко доказывается и математически.

При условии, что полные группы несовместных событий, образующих сложное событие, связаны между собой только по горизонтали (т. е. вместе участвуют в образовании сложного события, а вероятности событий одной группы не изменяются от событий второй), вероятности сложных событий равны произведениям вероятностей простых событий, составляющих сложные. Если вероятности событий группы А обозначить через $a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$, а группы В—через b_1, b_2, \dots, b_n , то вероятности сложных событий, образованных этими группами, составят: $p_{11}=a_1b_1; p_{12}=a_1b_2; \dots; p_{1n}=a_1b_n; p_{21}=a_2b_1; p_{22}=a_2b_2; \dots; p_{2n}=a_2b_n; \dots; p_{m1}=a_mb_1; p_{m2}=a_mb_2; \dots; p_{mn}=a_mb_n$.

Если рассматривать сложные события как простые, составляющие полную группу несовместных событий, с вероятностями $p_{11}; p_{12}; \dots; p_{1n}; p_{21}; p_{22}; \dots; p_{2n}; \dots; p_{m1}; p_{m2}; \dots; p_{mn}$, то среднее количество информации в сообщении о таком событии, согласно формуле (5), составит

$$\begin{aligned}
 m_{cp} = & - [(a_1b_1 \log_2 a_1b_1 + a_1b_2 \log_2 a_1b_2 + \dots \\
 & \dots + a_1b_n \log_2 a_1b_n) + (a_2b_1 \log_2 a_2b_1 + \\
 & + a_2b_2 \log_2 a_2b_2 + \dots + a_2b_n \log_2 a_2b_n) + \\
 & + \dots \dots \dots + \\
 & + (a_mb_1 \log_2 a_mb_1 + a_mb_2 \log_2 a_mb_2 + \dots \\
 & \dots + a_mb_n \log_2 a_mb_n)] = \\
 = & - [(a_1b_1 \log_2 a_1 + a_1b_1 \log_2 b_1 + a_1b_2 \log_2 a_1 + \\
 & + a_1b_2 \log_2 b_2 + \dots + a_1b_n \log_2 a_1 + a_1b_n \log_2 b_n) + \\
 & + (a_2b_1 \log_2 a_2 + a_2b_1 \log_2 b_1 + a_2b_2 \log_2 a_2 + \\
 & + a_2b_2 \log_2 b_2 + \dots + a_2b_n \log_2 a_2 + a_2b_n \log_2 b_n) + \\
 & + \dots \dots \dots + \\
 & + (a_mb_1 \log_2 a_m + a_mb_1 \log_2 b_1 + a_mb_2 \log_2 a_m + \\
 & + a_mb_2 \log_2 b_2 + \dots + a_mb_n \log_2 a_m + a_mb_n \log_2 b_n)].
 \end{aligned}$$

Первые после круглых скобок слагаемые этого выражения могут быть записаны в виде $b_1 \sum_{i=1}^m a_i \log_2 a_i$, вторые — $b_1 \log_2 b_1 \sum_{i=1}^m a_i$; третьи — $b_2 \sum_{i=1}^m a_i \log_2 a_i$; четвертые — $b_2 \log_2 b_2 \sum_{i=1}^m a_i$; пятые — $b_n \sum_{i=1}^m a_i \log_2 a_i$; шестые — $b_n \log_2 b_n \times \sum_{i=1}^m a_i$. Учитывая, что $\sum_{i=1}^m a_i = 1$, получим

$$\begin{aligned} m_{\text{cp}} = & - \left(b_1 \sum_{i=1}^m a_i \log_2 a_i + b_1 \log_2 b_1 + \right. \\ & + b_2 \sum_{i=1}^m a_i \log_2 a_i + b_2 \log_2 b_2 + \dots \\ & \left. \dots + b_n \sum_{i=1}^m a_i \log_2 a_i + b_n \log_2 b_n \right) = \\ = & - \left[\left(\sum_{i=1}^m a_i \log_2 a_i \right) \sum_{j=1}^n b_j + \sum_{j=1}^n b_j \log_2 b_j \right]. \end{aligned}$$

Поскольку $\sum_{j=1}^n b_j = 1$,

$$m_{\text{cp}} = - \sum_{i=1}^m a_i \log_2 a_i - \sum_{j=1}^n b_j \log_2 b_j = m_1 + m_2,$$

где m_1 и m_2 — среднее количество информации в сообщениях о событиях групп А и В соответственно.

Любая из групп может рассматриваться в свою очередь как полная группа сложных событий, образуемых двумя и более группами простых событий. Поэтому результат расчета для k групп простых событий будет отличаться только количеством слагаемых m_1, m_2, \dots, m_k , что может быть записано в виде

$$m_{\text{cp}} = \sum_{i=1}^k m_i, \quad (8)$$

где $m_{\text{ср}}$ — среднее количество информации в сообщении о сложном событии, состоящем из связанных по горизонтали простых событий; m_i — среднее количество информации в сообщении об i -том простом событии ($i=1, 2, \dots, k$); k — количество простых событий, составляющих сложное.

Таким образом, среднее количество информации в сообщении о сложном событии равно сумме средних количеств информации, содержащихся в сообщениях о составляющих его простых событиях, если они связаны между собой по горизонтали так, что вероятность присутствия каждого из них в сложном сообщении равна 1 и, следовательно, число простых событий, составляющих сложное, постоянно.

Из формулы (8) и полученных выводов следует также, что принятая мера информации обладает свойством аддитивности, т. е. при ее использовании количество информации о сложных событиях равно сумме информации о составляющих их простых событиях.

Далее предположим, что использованные для иллюстрации кубики участвуют в определении состояния системы не вместе, а только по одному, в соответствии с вероятностями выбора того или иного из них. В этом случае оба кубика могут составить полную группу несовместных событий, а выбор любого из них будет означать выбор вполне определенных групп событий (цифр или цветов), из которых каждая (в любой конкретный момент только одна из них) может занять положение, характеризующее состояние системы. Вместе с тем ни одно событие второго кубика не имеет отношения к характеристике системы до тех пор, пока выбор не падет на него. Не трудно заметить, что события нижнего уровня здесь подчинены верхним, выбор любого кубика означает выбор группы событий, связанных с ним, простое событие верхнего уровня становится группой событий на более низком уровне.

Обозначим вероятность выбора группы событий на верхнем уровне (выбор кубика) через P_i , где $i=1, 2, \dots, k$ (k — количество групп на верхнем уровне), а вероятности событий на нижнем уровне (внутри групп) через p_{ij} , где $j=1, 2, \dots, k_i$ (k_i — количество всех событий на нижнем уровне в i -той группе событий верхнего уровня). Тогда вероятность событий на нижнем уровне

во всей системе (полная вероятность) определяется произведениями $P_i p_{ij}$, а среднее количество информации в сообщении об одном событии на нижнем уровне и соответствующем ему событии на верхнем уровне для любой из групп событий на основании формулы (5) выразится в виде

$$m_i = - \sum_{j=1}^{k_i} P_i p_{ij} \log_2 P_i p_{ij},$$

а для всех групп

$$\begin{aligned} m_{\text{ср}} &= - \sum_{i=1}^k m_i = - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{k_i} P_i p_{ij} \log_2 P_i p_{ij} = \\ &= - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{k_i} P_i (p_{ij} \log_2 P_i + p_{ij} \log_2 p_{ij}) = \\ &= - \sum_{i=1}^k P_i \sum_{j=1}^{k_i} (p_{ij} \log_2 P_i + p_{ij} \log_2 p_{ij}) = \\ &= - \sum_{i=1}^k P_i \left(\log_2 P_i \sum_{j=1}^{k_i} p_{ij} + \sum_{j=1}^{k_i} p_{ij} \log_2 p_{ij} \right). \end{aligned}$$

Но так как $\sum_{j=1}^{k_i} p_{ij} = 1$, получим

$$m_{\text{ср}} = - \sum_{i=1}^k P_i \log_2 P_i - \sum_{i=1}^k P_i \sum_{j=1}^{k_i} p_{ij} \log_2 p_{ij}.$$

Из полученного выражения видно, что

$$- \sum_{i=1}^k P_i \log_2 P_i$$

представляет собой среднее количество информации в сообщении о выборе группы событий, а $-\sum_{j=1}^{k_i} p_{ij} \log_2 p_{ij}$ — среднее количество информации в сообщении о выборе события внутри группы. Введя соответствующие обозначения, получим

$$m_{\text{ср}} = m_r + \sum_{i=1}^k P_i m_i, \quad (9)$$

где m_{cp} — среднее количество информации в сообщении о событии нижнего уровня и его принадлежности к событию верхнего уровня; m_r — среднее количество информации в сообщении о событии верхнего уровня (о выборе группы событий); P_i — вероятность выбора i -той группы событий; m_i — среднее количество информации в сообщении о событии нижнего уровня в i -той группе событий верхнего уровня ($i=1, 2, \dots, k$); k — количество событий верхнего или групп событий нижнего уровня.

Вернувшись к рассматриваемой выше системе из двух кубиков и приняв вероятность выбора для первого кубика $1/5$, второго $4/5$, получим значения состояний и их вероятности, приведенные в табл. 4.

Таблица 4

Выбор кубиков		Выбор граней		Состояние системы	
название	вероятн.	название	вероятн.	название	вероятн. (гр. 2 × гр. 4)
1	2	3	4	5	6
I	$1/5$	1	$1/6$	I	$1/30$
		2	$2/6$	II	$2/30$
		3	$3/6$	III	$3/30$
II	$4/5$	6	$2/6$	IV	$8/30$
		4	$4/6$	V	$16/30$

Из предшествующего расчета известно, что среднее количество информации о состоянии первого кубика $m_1 = 1,46$ бита, второго $m_2 = 0,92$ бита. Среднее количество информации о выборе кубика по формуле (5) составляет $m_k = \left(\frac{1}{5} \log_2 \frac{1}{5} + \frac{4}{5} \log_2 \frac{4}{5} \right) = 0,72$ бита. Следовательно, среднее количество информации в сообщении о состоянии системы по формуле (9) $m_{cp} = 0,72 + \frac{1}{5} 1,46 + \frac{4}{5} 0,92 = 1,75$ бита.

Тот же результат получим и по формуле (5), приняв в расчет полные вероятности состояний системы (гр. 6 табл. 4), $m_{cp} = - \left(\frac{1}{30} \log_2 \frac{1}{30} + \frac{2}{30} \log_2 \frac{2}{30} + \frac{3}{30} \log_2 \frac{3}{30} + \frac{8}{30} \log_2 \frac{8}{30} + \frac{16}{30} \log_2 \frac{16}{30} \right) = 1,75$ бита.

Событие «выбор кубика» является простым на своем уровне, поскольку кубики принадлежат к одной группе событий. Для более низкого уровня каждый кубик представляет собой свою группу событий: выбор цифры или цвета. Последние в рассматриваемой модели системы не разлагаются ни на какие другие группы событий и относятся к элементарным событиям. Это не значит, однако, что они неразложимы вообще. Кубики могут различаться по размерам цифр и их рисунку (арабские, римские), цвету окраски и т. д. Но для рассматриваемой модели это не имеет значения, поэтому появление любой цифры или цвета является элементарным событием.

На основании выражения (9) можно сформулировать положение: среднее количество информации в сообщении о сложном событии (m_{cp}), состоящем из двух уровней простых событий, складывается из среднего количества информации о выборе группы событий (m_r) и средних количеств информации о событиях внутри групп, умноженных на вероятности выбора групп ($\sum_{i=1}^k P_i m_i$), и сделать ряд выводов.

1. Если во всех группах событий возможно лишь одно событие (т. е. сами группы представляют собой элементарные события), то среднее количество информации о событиях внутри групп равно 0 ($m_i = -1 \log_2 1 = 0$) и тогда среднее количество информации в сообщении ($m_{cp} = m_r$) может определяться по формуле (5).

2. Если число групп равно 1 ($i = 1 = k$), то информация о выборе группы равна 0 ($m_r = -1 \log_2 1 = 0$). И в этом случае среднее количество информации в сообщении ($m_{cp} = m_i$) может определяться по формуле (5).

3. Если все события внутри групп содержат одинаковые количества информации ($m_i = m_c = \text{const}$) или равновероятны ($p_{ij} = \text{const}$), то среднее количество информации в сообщении о сложном событии равно сумме средних количеств информации о выборе групп событий и выборе событий внутри групп ($m_{cp} = m_r + m_c$). В этих случаях все события (независимо от уровней их взаимного расположения) могут рассматриваться как простые и для расчета среднего количества информации в сложном событии может быть использована формула (8).

4. Если в последнем случае среднее количество информации в сообщении о событии в группе одинаково

для всех групп ($m_i = m_c = \text{const}$), то среднее количество информации в сообщении о состоянии системы равно количеству групп, определяющих систему, умноженному на среднее количество информации в сообщении о событии внутри группы

$$m_{\text{cp}} = km_c, \quad (10)$$

где $m_c = \text{const}$ для всех k групп, совместно характеризующих состояние системы.

5. Если система определяется одновременно событиями всех групп (сложное сообщение) и при этом из каждой группы может быть выбрано только одно событие (так как внутри групп события несовместны), то выбор групп никакой информации не несет ($m_r = -1 \log_2 1 = 0$). Среднее количество информации в сообщении складывается только из информации о событиях внутри групп, вследствие чего формула (8) сводится по содержанию к формуле (5)

$$m_{\text{cp}} = - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{k_i} p_{ij} \log_2 p_{ij}. \quad (11)$$

Однако сумма всех вероятностей в системе в целом становится равной не единице, как в формуле (5), а количеству групп, события которых определяют систему, так как

$$\sum_{j=1}^{k_i} p_{ij} = 1, \text{ а } \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{k_i} p_{ij} = \sum_{i=1}^k 1 = k. \text{ Если средние количества}$$

информации в сообщениях о событиях внутри групп (m_i) известны, то общее количество информации можно определить по формуле (8).

Анализ формулы (9) и сравнение ее с формулой (8) показывает, что в ряде случаев они взаимозаменяемы. Но если события жестко связаны по горизонтали, то количество информации в сообщениях о простых событиях просто суммируется, а если связь идет по вертикали, то количество информации о событиях более низкого уровня (внутри групп) при суммировании умножается на вероятности выбора групп, к которым они принадлежат.

Формула (8) применима при условии, что в образовании сложного события все группы участвуют каждый раз с вероятностью 1, формула (9) — при условии, что все группы рассматриваются как составляющие полной группы несовместных событий более высокого уровня. Возможны и более сложные ситуации, когда различные группы с различными вероятностями то вместе, то отдельно участвуют своими событиями в образовании сложных событий. Чтобы перейти к рассмотрению таких ситуаций, следует ввести новое понятие — пустое сообщение.

Любое отдельное событие, в том числе и элементарное, можно рассматривать как принадлежащее к своей собственной, самостоятельной группе, включающей в себя лишь два события: событие x произошло и событие \bar{x} не произошло. Вероятность события \bar{x} (черточка над x обозначает, что событие не произошло) равна $1-p$, где p — вероятность события x .

При рассмотрении таких групп \bar{x} может быть элементарным и неэлементарным событием, т. е. представлять собой некоторую совокупность других возможных событий. Каждое из них в свою очередь можно рассматривать как принадлежащее к своим группам двух взаимоисключающих событий (произошло или не произошло событие) и таким образом, двигаясь вниз, можно получить элементарные события, вероятности которых будут равны 1 (событие произошло) или 0 (событие не произошло). Как уже упоминалось, событие с вероятностью 1 является элементарным лишь для рассматриваемой модели, а с вероятностью 0 — безотносительно модели.

Поясним это положение с помощью уже упоминавшегося кубика 1. Все его цифры (1, 2, 2, 3, 3, 3) представляют собой элементарные события, принадлежащие одной полной группе несовместных событий. Но цифру 1, как и любую другую, можно считать одним из двух событий другой группы: 1 и $\bar{1}$, вероятности которых соответственно $1/6$ и $5/6$. В этом случае цифра 1 — элементарное событие, а $\bar{1}$ представляет собой группу несовместных событий, состоящую из цифр 2 и 3, вероятности которых для оставшихся пяти граней теперь равны $2/5$ и $3/5$. Любую из этих двух цифр можно опять рассматривать как принад-

лежащую к своей группе событий: 2 и $\bar{2}$; 3 и $\bar{3}$. Если рассматривать группу событий 2 и $\bar{2}$, то $\bar{2}$ представляет собой группу событий 3 и $\bar{3}$, в которой вероятность 3 равна 1, так как осталось три грани с цифрами 3, а вероятность $\bar{3}$ теперь = 0. Полную вероятность получим: $1/6$ для 1; $(1 - 1/6) \cdot 2/5 = 2/6$ для цифры 3; $(1 - 1/6) (1 - 2/5) 3/3 = 3/6$ для цифры $\bar{3}$.

Таким образом, получены исходные результаты, хотя все цифры и рассматривались как система событий, связанных по вертикали. При этом все события на своих уровнях являются простыми. Среднее количество информации в сообщениях о них определяется по формуле (5) и получает следующее значение:

$$\text{для грани 1 в группе 1, } \bar{1} m_1 = - \left(\frac{1}{6} \log_2 \frac{1}{6} + \frac{5}{6} \log_2 \frac{5}{6} \right);$$

$$\text{для грани 2 в группе 2, } \bar{2} m_2 = - \left(\frac{2}{5} \log_2 \frac{2}{5} + \frac{3}{5} \log_2 \frac{3}{5} \right);$$

$$\text{для грани 3 в группе 3, } \bar{3} m_3 = - \left(\frac{3}{3} \log_2 \frac{3}{3} + 0 \right).$$

Грань 3 здесь — элементарное событие, а все остальные при данном построении модели — группы событий различных уровней. Это учитывается формулой (9). Воспользовавшись ею, можно определить среднее количество информации в сообщениях:

$$\begin{aligned} \text{при выборе грани 2 с учетом нижних уровней (уровня 3)} \\ m_{23} = m_2 + \frac{3}{3} m_3 = - \left(\frac{2}{5} \log_2 \frac{2}{5} + \frac{3}{5} \log_2 \frac{3}{5} \right) + 0; \text{ при} \\ \text{выборе грани 1 с учетом нижних уровней (2 и 3)} m_{123} = \\ = m_1 + \frac{5}{6} m_{23} = m_1 + \frac{5}{6} \left(m_2 + \frac{3}{3} m_3 \right) = - \left\{ \left(\frac{1}{6} \log_2 \frac{1}{6} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{5}{6} \log_2 \frac{5}{6} \right) + \frac{5}{6} \left[\left(\frac{2}{5} \log_2 \frac{2}{5} + \frac{3}{5} \log_2 \frac{3}{5} \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{3}{5} \left(\frac{3}{3} \log_2 \frac{3}{3} + 0 \right) \right] \right\}. \text{ После преобразований } m_{123} = - \\ - \left(\frac{1}{6} \log_2 \frac{1}{6} + \frac{2}{6} \log_2 \frac{2}{6} + \frac{3}{6} \log_2 \frac{3}{6} \right) = 1,46 \text{ бита.} \end{aligned}$$

То же было получено и по формуле (5) при рассмотрении всех граней как простых событий одной группы. Следовательно, одни и те же события могут быть представлены различными моделями, выбор которых полностью определяется требованиями информационных процессов.

Сообщение о том, что данное событие не произошло, не означает, что никакого события нет. Для сообщения об отсутствии события характерны весьма существенные особенности. Чтобы уяснить их, проанализируем наблюдение за движущимся через перекресток транспортом с целью учета количества автомобилей, проходящих за сутки. Появление каждого автомобиля отмечается цифрой 1, по истечении часа результат наблюдений записывается числом, равным числу накопившихся единиц. Суточное число определяется как сумма результатов часовых наблюдений.

Таким образом, при наблюдениях внутри часа отмечаются только появления автомобилей. Результат наблюдения за час может быть выражен любой цифрой, в том числе и нулем. В последнем случае сообщения может не быть вообще, а при поступлении оно может рассматриваться двояко: 1) количество прошедших за 1 час автомобилей равно нулю; 2) наблюдаемое событие в течение часа не произошло. Суточный результат можно также определить двояко: 1) суммированием всех результатов часовых наблюдений, в том числе и нулевых; 2) суммированием только ненулевых результатов. При этом оба результата окажутся одинаковыми.

Но если бы потребовалась информация о распределении числа автомобилей по времени или о среднечасовом их количестве, то сообщение о нуле имело бы то же значение, что и все остальные.

Таким образом, событие 0 в одних случаях означает количественную меру некоторой величины и тогда ничем не отличается от всех остальных событий. В других случаях 0 отрицает одно из возможных событий. Если при этом вероятны другие события из той же группы, то событие 0 может быть сложным. Когда же 0 означает сообщение, что ни одно из полной группы несовместных событий не произошло, тогда независимо от уровня такое событие является элементарным, а сообщение о нем называется пустым.

Если пустое сообщение поступает в общем информационном потоке, то среднее количество информации в таком сообщении, согласно формуле (5), может быть выражено в следующем виде:

$$m_{\text{ср}} = - \left(\frac{q_1}{q + q_0} \log_2 \frac{q_1}{q + q_2} + \right. \\ \left. + \frac{q_2}{q + q_0} \log_2 \frac{q_2}{q + q_0} + \dots + \right. \\ \left. + \frac{q_k}{q + q_0} \log_2 \frac{q_k}{q + q_0} + \frac{q_0}{q + q_0} \log_2 \frac{q_0}{q + q_0} \right),$$

где $\frac{q_1}{q} = p_1$; $\frac{q_2}{q} = p_2$; ...; $\frac{q_k}{q} = p_k$ — вероятности событий без учета вероятности их отсутствия; k — общее количество событий; $\sum_{i=1}^k q_i = q$; ($i = 1, 2, \dots, k$); $\frac{q_1}{q + q_0} = p_1^0$; $\frac{q_2}{q + q_0} = p_2^0$; ...; $\frac{q_k}{q_1 + q_0} = p_k^0$ — вероятности событий, включая вероятность их отсутствия; $\frac{q_0}{q + q_0} = P_0$ — вероятность отсутствия событий.

После несложных преобразований выражения получим

$$m_{\text{ср}}^0 = - \left(\frac{q}{q + q_0} \log_2 \frac{q}{q + q_0} + \frac{q_0}{q + q_0} \log_2 \frac{q_0}{q + q_0} + \right. \\ \left. + \frac{q}{q + q_0} \sum_{i=1}^k p_i \log_2 p_i \right).$$

Если учесть, что $\frac{q}{q + q_0} = P_1$ — вероятность того, что какое-либо из наблюдаемых событий произошло, а $-\sum_{i=1}^k p_i \log_2 p_i = m_{\text{ср}}$ — среднее количество информации, содержащейся в непустых сообщениях, то $m_{\text{ср}}^0 = -(P_1 \log_2 P_1 + P_0 \log_2 P_0) + P_1 m_{\text{ср}}$, или окончательно

$$m_{\text{ср}}^0 = m_0 + P_1 m_{\text{ср}}, \quad (12)$$

где m_0 — среднее количество информации в сообщении

о событиях, вместе с информацией пустых сообщений; $m_0 = -(P_1 \log_2 P_1 + P_0 \log_2 P_0)$ — среднее количество информации в сообщении о том, что какое-то из наблюдаемых событий произошло или не произошло; P_1 — вероятность того, что какое-либо из наблюдаемых событий произошло; $P_0 = 1 - P_1$ — вероятность того, что никакое из наблюдаемых событий не произошло; m_{cp} — среднее количество информации в сообщении о любом из наблюдаемых событий, определяемое по формуле (5).

При сравнении формулы (12) с формулой (9) можно установить, что среднее количество информации в сообщении о том, что какое-либо из наблюдаемых событий произошло или не произошло (m_0), относится к информации о событиях более высокого уровня. Это вполне понятно, ибо информация о том, что наблюдаемое событие произошло, требует уточнения, какое именно событие произошло, если их больше одного.

Когда информация о событиях более высокого уровня не нужна (в данном случае это может иметь место, поскольку факт отсутствия непустого сообщения обычно свидетельствует о том, что наблюдаемое событие не произошло), то наблюдение событий начинается непосредственно со второго уровня и среднее количество информации (m_{cp}) определяется по формуле (5).

Из сравнения формул (12) и (9) видно также, что в формуле (12) отсутствует в качестве слагаемого произведение P_0 на количество информации о событиях более низкого уровня. Это является следствием того, что событие «нет событий» представляет собой элементарное событие и не может содержать никакой информации, кроме как о себе самом. Если, например, при наблюдении движения автомобилей учитываются не только общее количество, но и грузоподъемность, цвет, серия, скорость и другие данные, то при отсутствии автомобилей вопрос о каких-либо их признаках не возникает.

Формула (12) позволяет оценить и количество информации, приходящейся на непустые и пустые сообщения, т. е. при известном m_{cp}^0 и P_1 определить m_{cp} (или разницу между m_{cp}^0 и m_{cp}). Для этих целей она преобразуется в следующий вид:

$$m_{cp} = \frac{1}{1 - P_0} [m_{cp}^0 + (1 - P_0) \log_2 (1 - P_0) + P_0 \log_2 P_0], \quad (13)$$

где P_0 — полная вероятность пустых сообщений по всем событиям конкретного уровня.

Особенности пустых сообщений и количество информации в них позволяют рассмотреть случаи, когда участие каждой группы верхнего уровня в образовании сложного события является не обязательным, а случайным. Вследствие этого в образовании сложных событий участвуют различные и в различных комбинациях группы верхнего уровня.

Случайные комбинации событий

В рассмотренном выше примере с кубиками в одном случае (табл. 3) в формировании сложного события обязательно участие обоих кубиков, во втором (табл. 4) участвует только один из них. В первом случае оба кубика составляют сложное событие, во втором — полную группу несовместных событий. Введение термина «отсутствие событий» позволяет создать условия, при которых одни и те же группы (первый и второй кубики) то вместе, то отдельно образуют сложные события этого уровня.

Предположим, что события начинаются со случайного выбора из двух урн по одному из кубиков. В первой урне находится один кубик, на гранях которого нанесены цифры 1, 2, 2, 3, 3, 3 (кубик I) и четыре кубика с нулями на всех гранях. Во второй урне помещено четыре кубика, у которых две грани окрашены в белый, а четыре — в черный цвет (кубик II), и один кубик с нулями на всех гранях. Будем считать, что урны каждый раз только вместе участвуют в образовании событий, хотя их в свою очередь можно рассматривать и как несовместные события полной группы более высокого уровня и как совместные события, случайно участвующие в формировании сложного события. Если из соответствующей урны извлечен кубик I или кубик II, то событие произошло; если кубик с нулями, то событие не произошло.

Сведем исходные данные этого примера в табл. 5, а возможные при этих данных сочетания кубиков и их граней, а также вероятности сочетаний — в табл. 6.

Табл. 6 показывает, что вероятность выбора каждого из кубиков остается исходной ($\frac{1}{5}$ и $\frac{4}{5}$): кубик I из 900 наблюдений встречается 180, кубик II—720 раз. Сохраняется вероятность событий и внутри всех групп. При 900 наблюдениях кубики I и II встречаются вместе 144, по одному

Таблица 5

Урны		Кубики		Грани кубиков	
название	вероятн.	название	вероятн.	название	вероятн.
А	1	1	$\frac{1}{5}$	1	$\frac{1}{6}$
		0	$\frac{4}{5}$	2	$\frac{2}{6}$
В	1	II	$\frac{4}{5}$	3	$\frac{3}{6}$
		0	$\frac{1}{5}$	0	1
				б	$\frac{2}{6}$
ч	$\frac{4}{6}$				
0	1				

Таблица 6

Кубики		Грани		
возможные сочетания	вероятность сочетаний	возможные сочетания	вероятность сочетаний	
			для кубиков	полная
1	2*	3	4**	5***
1, II	$\frac{4}{25}$	1, б	$\frac{2}{36}$	$\frac{8}{900}$
		2, б	$\frac{4}{36}$	
		3, б	$\frac{6}{36}$	
		1, ч	$\frac{4}{36}$	
		2, ч	$\frac{8}{36}$	
		3, ч	$\frac{12}{36}$	
1, 0	$\frac{1}{25}$	1, 0	$\frac{1}{6}$	$\frac{6}{900}$
		2, 0	$\frac{2}{6}$	$\frac{12}{900}$
		3, 0	$\frac{3}{6}$	$\frac{18}{900}$
0, II	$\frac{16}{25}$	0, б	$\frac{2}{6}$	$\frac{192}{900}$
		0, ч	$\frac{4}{6}$	$\frac{384}{900}$
0, 0	$\frac{4}{25}$	0, 0	1	$\frac{144}{900}$

*Произведение вероятностей сочетающихся кубиков.

**Произведение вероятностей сочетающихся граней.

***Произведение данных гр. 2 на данные гр. 4.

36 (I) и 576 (II), отсутствуют оба 144 раза. Соответственно с этим и вероятности сообщений о нулях по двум кубикам

$$\frac{1}{5} \cdot \frac{4}{5} = \frac{4}{25} \left(\text{то же, что и } \frac{144}{900} = \frac{4}{25} \right), \text{ по первому}$$

$$\frac{4}{5} \cdot \frac{4}{5} = \frac{16}{25} \left(\text{то же, что и } \frac{576}{900} = \frac{16}{26} \right), \text{ по второму}$$

$$\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{5} = \frac{1}{25} \left(\text{то же, что и } \frac{36}{900} = \frac{1}{25} \right).$$

Поскольку в сообщениях о сочетаниях I, 0 и 0, II содержится информация не только о нулях, но и о кубиках, они к пустым не относятся. Поэтому количество пустых сообщений ограничивается сообщениями о сочетаниях 0, 0.

Из табл. 6 видно также, что если вероятность сочетания кубиков I и II вместо расчетной ($\frac{4}{25}$) принять равной 1, то все прочие варианты исключаются и остается ранее рассмотренный случай, когда оба кубика только вместе образуют сложные события. Если для сочетаний I, 0 и 0, II принять вероятности $\frac{1}{5}$ и $\frac{4}{5}$ (вместо $\frac{1}{25}$ и $\frac{16}{25}$), исключив все остальные сочетания, то остается также рассмотренный выше случай, когда кубики I и II вместе составляют полную группу несовместных событий. Таким образом, характеризуемый данными табл. 6 случай является обобщающим по отношению к рассмотренным выше.

Если рассматривать гр. 5 как полную группу несовместных событий самого нижнего уровня, то среднее количество информации в сообщении по данным табл. 6 может быть вычислено по формуле (5) и составит 2,46 бита. Тот же результат можно получить и без вычисления полных вероятностей сложных событий.

Среднее количество информации о простых событиях рассматриваемой системы, вычисленное по формуле (5), составит: при выборе кубика I $m_{KI} = - \left(\frac{1}{5} \log_2 \frac{1}{5} + \frac{4}{5} \log_2 \frac{4}{5} \right) = 0,72$ бита; при выборе кубика II $m_{KII} = - \left(\frac{4}{5} \log_2 \frac{4}{5} + \frac{1}{5} \log_2 \frac{1}{5} \right) = 0,72$ бита; при выборе грани кубика I $m_1 = - \left(\frac{1}{6} \log_2 \frac{1}{6} + \frac{2}{6} \log_2 \frac{2}{6} + \frac{3}{6} \log_2 \frac{3}{6} \right) = 1,46$ бита; при выборе грани кубика II $m_2 = - \left(\frac{2}{6} \log_2 \frac{2}{6} + \frac{4}{6} \log_2 \frac{4}{6} \right) = 0,92$ бита.

События «выбор кубиков в урнах» связаны между собой по горизонтали. Поэтому среднее количество информации о выборе двух кубиков определяется по формуле (8) $m_{\text{ккп}} = 0,72 + 0,72 = 1,44$ бита.

События «выбор кубиков в урнах» и «выбор граней кубиков» связаны по вертикали. Поэтому общее среднее количество информации о состоянии системы (о выборе двух граней двух кубиков) определяется по формуле (9) $m_{\text{ср}} = 1,44 + \frac{1}{5} 1,46 + \frac{4}{5} 0,92 = 2,46$ бита.

Результат, полученный в целом, означает, что среднее количество информации в сообщении о двух случайно выбранных гранях из множества 1, 2, 3, 6, 4, 0, принадлежащего выбранным кубикам (I, II, 0), при указанных в табл. 5 вероятностях выбора равно 2,46 бита.

Несколько иным будет результат, если исключить из расчета информацию пустых сообщений. В этом случае число событий на самом нижнем уровне (гр. 5 табл. 6) сокращается с 12 до 11, их вероятности соответственно возрастут в соотношении $\frac{900}{900-144}$ и числители при знаменате-

ле 1000 окажутся следующими: 011, 021, 032, 021, 042, 0,63, 0,08, 0,16, 0,24, 254, 508.

Среднее количество информации в сообщении об одном из этих событий, вычисленное по формуле (5), составит 2,18 бита.

Тот же результат получим и по формуле (13), исключаящей информацию пустых сообщений, $m_{\text{ср}} = \frac{1}{1 - \frac{1}{5} \cdot \frac{4}{5}} \times$
 $\times \left[2,46 + \left(1 - \frac{1}{5} \cdot \frac{4}{5} \right) \log_2 \left(1 - \frac{1}{5} \cdot \frac{4}{5} \right) + \frac{1}{5} \times \right.$
 $\times \left. \frac{4}{5} \log_2 \frac{1}{5} \cdot \frac{4}{5} \right] = 2,18$ бита.

Таким образом, устранение пустых сообщений уменьшило среднее количество информации в сообщении об одном из параметров системы на $2,46 - 2,18 = 0,28$ бита.

При устранении пустых сообщений среднее количество информации в сообщении изменяется по двум тенден-

циям: оно сокращается за счет ликвидации пустых сообщений и увеличивается за счет увеличения информационной нагрузки, приходящейся на каждое непустое сообщение.

Эти тенденции можно проследить и в только что рассмотренной системе.

Если отбросить пустые сообщения на уровне сочетания кубиков (в сочетаниях 0, 0), то вероятность сочетания I, II (гр. 2 табл. 6) будет $\frac{1}{21}$; I, 0— $\frac{1}{21}$ и 0, II— $\frac{16}{21}$. Среднее количество информации в сообщении о сочетании кубиков по формуле (5) *, исчисленное по этим данным, составит 0,96 бита вместо 1,44 бита, полученных при учете пустых сообщений (в сочетаниях 0, 0). Таким образом, сокращение составляет $1,44 - 0,96 = 0,48$ бита.

Но в связи с увеличением вероятностей непустых сообщений (с $\frac{1}{25}$, $\frac{1}{25}$ и $\frac{16}{26}$ до $\frac{1}{21}$, $\frac{1}{21}$ и $\frac{16}{21}$) увеличивается с 1,02 до 1,22 бита среднее количество информации сообщений за счет нижнего уровня. Это увеличение происходит в результате сокращения общего количества сообщений (с 900 до $900 - 144 = 756$) и соответствующего ему роста информационной нагрузки на оставшиеся непустые сооб-

щения ($1,02 \cdot \frac{756}{900} = 1,22$). В целом среднее количество информации в сообщении сокращается на $0,48 - 0,20 = 0,28$ бита.

Сокращение количества информации при ликвидации пустых сообщений нельзя считать потерей информации, так как потребителю информации заранее известен результат выбора тех событий, о которых нет сообщений. Таким образом, 0,48 бита в приведенном выше примере как бы перекечвали из информации сообщений в справочную информацию потребителя и каждый раз прикладываются им при восприятии последней.

Пустые сообщения имеют еще ту особенность, что они позволяют неравновоятные события наблюдать при равновоятных выборках с вероятностью каждой выборки, равной 1. В рассмотренном выше примере оба кубика с различными вероятностями участвуют в образовании сложного события. Вероятность выборки того или иного кубика определяется их количеством. Введение нулевых кубиков уравнивает их количество в обеих урнах

* Тот же результат получится и по формуле (13).

и требует выбирать кубики из каждой урны с вероятностью, равной 1. В таких случаях, как уже известно, среднее количество информации в сообщении о системе в целом равно сумме средних количеств информации в сообщениях по каждой группе в отдельности, что и отражается формулой (8).

По формуле (9) и данным табл. 5 среднее количество информации в сообщении о результатах выбора составит:

$$\begin{aligned} \text{из урны А } m_A &= m_{кI} + \frac{1}{5} m_1 + \frac{4}{5} m_0 = 0,72 + \frac{1}{5} \times \\ &\times 1,46 + \frac{4}{5} \cdot 0 = 1,02 \text{ бита; из урны В } m_B = m_{кII} + \frac{4}{5} m_2 + \\ &+ \frac{1}{5} m_0 = 0,72 + \frac{4}{5} \cdot 0,92 + \frac{1}{5} \cdot 0 = 1,44 \text{ бита; а всего,} \end{aligned}$$

по формуле (8), $m_{ср} = m_A + m_B = 1,02 + 1,44 = 2,46$ бита. Это полностью совпадает с прежним результатом, полученным по формуле (9) без деления на отдельные сообщения на уровне урн.

Это обстоятельство делает полезной запись формулы для определения среднего количества информации в сообщении о событии одной из групп (i -той группы) в виде

$$m_i = - [P_i \log_2 P_i + (1 - P_i) \log_2 (1 - P_i)] + P_i M_i + (14) \\ + (1 - P_i) M_{k-i},$$

где P_i — вероятность, что i -тая группа при конкретной выборке входит в состав групп, события которых образуют сложное событие; $1 - P_i$ — вероятность, что i -тая группа при конкретной выборке не входит в состав групп, события которых образуют сложное событие; M_i — среднее количество информации о событии внутри i -той группы; M_{k-i} — среднее количество информации в сообщении, если событие i -той группы не произошло.

Если сложное событие образуется событиями k групп, но при конкретной выборке i -тая группа не попадает в их состав, то $M_{k-i} = 0$, так как сообщение об этом — пустое (оно не может дать информации ни о каком событии данной группы), а выбор других групп и событий внутри них совершенно не зависит от результатов выбора по i -той группе. Поэтому когда среднее количество информации о сложном событии представляет собой сумму средних ко-

личество информации в каждом из сообщений, формула (14) получает вид

$$m_i = - [P_i \log_2 P_i + (1 - P_i) \log_2 (1 - P_i)] + P_i M_i. \quad (15)$$

Общее среднее количество информации в сообщении о состоянии системы, характеризуемом событиями всех k групп, равно сумме средних количеств информации (Σm_i), вычисленных по формуле (15) для сообщений о событиях каждой i -той группы в отдельности.

Анализ одной из моделей

Для более полного уяснения особенностей определения среднего количества информации в сообщениях о сложных событиях с иерархическим построением рассмотрим систему, представляющую совокупность трех разновидностей фигур разных размеров — пять шаров, восемь конусов и три прямоугольные призмы. Размер шара, как известно, характеризуется только диаметром, конуса — диаметром и высотой, призмы — тремя ее сторонами. Выясним какое среднее количество информации приносят сообщения о выборе одного из размеров какой-либо из фигур и о состоянии системы, характеризуемом одновременно несколькими параметрами.

Для более четкого представления о системе ее исходные данные объединены в табл. 7.

Данные табл. 7 позволяют определить по формуле (5) среднее количество информации о выборе любого из параметров любой фигуры. Для этого необходимо определить вероятности выбора параметров в системе, равные произведениям вероятностей выбора фигур, их параметров и величин параметров.

Таблица 7

Фигуры	Число фигур	Параметр	Размер параметра фигуры, см							
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Шар	5	диаметр	10	15	20	20	10	—	—	—
Конус	8	диаметр	40	40	50	60	30	60	60	50
		высота	60	80	80	70	60	50	70	80
Призма	3	ширина	30	20	20	—	—	—	—	—
		длина	50	80	90	—	—	—	—	—
		толщина	10	20	10	—	—	—	—	—

Расчет вероятностей приведен в табл. 8. По данным гр. 7 этой таблицы, среднее количество информации в сообщении об одном из 18 размеров составит 3,93 бита.

Таким образом, сообщение о величине любого из параметров рассматриваемой системы (диаметр шара, диаметр или высота конуса, одна из сторон прямоугольной призмы) приносит в среднем 3,93 бита информации. Причем речь идет не только об одной из 18 величин (общее количество различных величин, как видно из гр. 5 табл. 8, не 18, а 10, поскольку в ряде строк величины одинаковы), но и о выражаемом этой величиной параметре, принадлежащем той или иной фигуре. Примером может быть сообщение о том, что случайно выбранный размер 20 — это ширина одной из призм.

Тот же результат можно получить и с использованием информации о связях событий в системе.

Таблица 8

Выбор						Вероятность выбора размера во всей системе (гр. 2×гр. 4×гр. 6)		
фигуры		параметра фигуры		величины параметра				
название	вероятность	название	вероятность	величина, см	вероятность			
1	2	3	4	5	6			
Шар	$\frac{6}{16}$	диаметр	1	10	$\frac{2}{6}$	$\frac{10}{80}$		
				15	$\frac{1}{5}$		$\frac{6}{80}$	
				20	$\frac{2}{6}$		$\frac{10}{80}$	
Конус	$\frac{8}{16}$	диаметр	$\frac{1}{2}$	40	$\frac{2}{8}$	$\frac{16}{256}$		
				50	$\frac{2}{8}$		$\frac{16}{256}$	
				60	$\frac{3}{8}$		$\frac{24}{256}$	
				30	$\frac{1}{8}$	$\frac{8}{256}$		
				высота	$\frac{1}{2}$		60	$\frac{2}{8}$
				80			$\frac{3}{8}$	$\frac{24}{256}$
		70	$\frac{2}{8}$	$\frac{16}{256}$				
		Призма	$\frac{3}{16}$	ширина	$\frac{1}{3}$	30	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{144}$
						20	$\frac{2}{3}$	
длина	$\frac{1}{3}$					50	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{144}$
				80	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{144}$		
				90	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{144}$		
				толщина	$\frac{1}{3}$	10	$\frac{2}{3}$	$\frac{6}{144}$
		20	$\frac{1}{3}$			$\frac{3}{144}$		
Всего	1		3		6	1		

По формуле (5) получим среднее количество информации по всем группам простых событий при выборе:

$$\text{фигуры } m_1 = - \left(\frac{5}{16} \log_2 \frac{5}{16} + \frac{8}{16} \log_2 \frac{8}{16} + \right. \\ \left. + \frac{3}{16} \log_2 \frac{3}{16} \right) = 1,48 \text{ бита;}$$

$$\text{параметра (диаметр) шара } m_2 = -1 \log_2 1 = 0;$$

$$\text{параметра (диаметр или высота) конуса } m_3 =$$

$$= - \left(\frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} \right) = 1 \text{ бит;}$$

$$\text{параметра призмы (ширина, длина или толщина) } m_4 = \\ = - \left(\frac{1}{3} \log_2 \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \log_2 \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \log_2 \frac{1}{3} \right) = 1,58 \\ \text{бита;}$$

$$\text{диаметра шара } m_5 = - \left(\frac{2}{5} \log_2 \frac{2}{5} + \frac{1}{5} \log_2 \frac{1}{5} + \right. \\ \left. + \frac{2}{5} \log_2 \frac{2}{5} \right) = 1,52 \text{ бита;}$$

$$\text{диаметра конуса } m_6 = - \left(\frac{2}{8} \log_2 \frac{2}{8} + \frac{2}{8} \log_2 \frac{2}{8} + \right. \\ \left. + \frac{3}{8} \log_2 \frac{3}{8} + \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} \right) = 1,91 \text{ бита;}$$

$$\text{высоты конуса } m_7 = - \left(\frac{2}{8} \log_2 \frac{2}{8} + \frac{3}{8} \log_2 \frac{3}{8} + \right. \\ \left. + \frac{2}{8} \log_2 \frac{2}{8} + \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} \right) = 1,91 \text{ бита;}$$

$$\text{ширины призмы } m_8 = - \left(\frac{1}{3} \log_2 \frac{1}{3} + \frac{2}{3} \log_2 \frac{2}{3} \right) = \\ = 0,92 \text{ бита;}$$

$$\text{длины призмы } m_9 = - \left(\frac{1}{3} \log_2 \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \log_2 \frac{1}{3} + \right. \\ \left. + \frac{1}{3} \log_2 \frac{1}{3} \right) = 1,58 \text{ бита;}$$

$$\text{толщины призмы } m_{10} = - \left(\frac{2}{3} \log_2 \frac{2}{3} + \frac{1}{3} \log_2 \frac{1}{3} \right) = \\ = 0,92 \text{ бита.}$$

Согласно табл. 7, среднее количество информации m_1 относится к самой верхней; $m_2 \div m_4$ — к более низкой; $m_5 \div m_{10}$ — к самой низкой ступени сложного события. Пользуясь формулой (9) и двигаясь сверху вниз, получим среднее количество информации в сообщении об одном из параметров:

$$\text{шара } m_{\text{ш}} = m_2 + 1m_5 = 0 + 1 \cdot 1,52 = 1,52 \text{ бита};$$

$$\text{конуса } m_{\text{к}} = m_3 + \frac{1}{2}m_6 + \frac{1}{2}m_7 = 1,00 + \frac{1}{2}1,91 + \\ + \frac{1}{2}1,91 = 2,91 \text{ бита};$$

$$\text{призмы } m_{\text{п}} = m_4 + \frac{1}{3}m_8 + \frac{1}{3}m_9 + \frac{1}{3}m_{10} = 1,58 + \\ + \frac{1}{3}0,92 + \frac{1}{3}1,58 + \frac{1}{3}0,92 = 2,72 \text{ бита}.$$

Последние три значения представляют собой средние количества информации в сообщениях о выборе конкретного размера или параметра в рамках отдельных событий (шар, конус, призма). Но эти события в свою очередь составляют одну полную группу несовместных событий более высокого уровня. С учетом этого уровня можно определить по формуле (9) среднее количество информации в сообщении о выборе любого размера в системе $m_{\text{ср}} = m_1 + \frac{5}{16}m_{\text{ш}} + \frac{8}{16}m_{\text{к}} + \\ + \frac{3}{16}m_{\text{п}} = 1,48 + \frac{5}{16}1,52 + \frac{8}{16}2,91 + \frac{3}{16}2,72 = \\ = 3,93 \text{ бита}.$

Этот результат означает, что сообщение о случайном выборе одной из фигур системы и одного из размеров фигуры содержит в среднем 3,93 бита информации. Сообщение, в частности, может быть таким: взятая случайным образом величина 30 относится к высоте одного из конусов.

Далее предположим, что состояние системы определяется случайным выбором одновременно трех фигур, рассортированных по видам, но не по размерам.

Однако каждая фигура имеет параметры, жестко связанные между собой. Конус № 2 диаметром 40 см не может иметь высоту какого-либо другого конуса. Его высота

обязательно будет принадлежать только ему, т. е. составит 80 см. По данным табл. 7, в системе имеется только шесть, а не восемь различных конусов, так как параметры конусов III и VIII, IV и VII одинаковы. Вероятности выбора фигур с различными параметрами окажутся следующими: для шара $\frac{2}{5}$, $\frac{1}{5}$ и $\frac{2}{5}$; для конуса $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{2}{8}$, $\frac{2}{8}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{8}$; для призмы $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{3}$. Среднее же количество информации в сообщении о выборе фигур определенного размера при рассмотрении каждой из них локально (вне всей системы) составит по формуле (5) $m_{ш} = 1,52$ бита; $m_{к} = 2,50$ бита; $m_{п} = 1,58$ бита.

Эти же результаты можно получить и по формуле (9), последовательно вводя информацию о конкретных параметрах фигур.

Размер шара определяется одним параметром — его диаметром. Поэтому выбор диаметра означает и выбор шара.

Размерная группа конуса определяется двумя параметрами — диаметром и высотой. Среднее количество информации в сообщении об одном из диаметров конуса, определенное по данным табл. 7 и формуле (5), составит

$$m_{дк} = - \left(\frac{2}{8} \log_2 \frac{2}{8} + \frac{2}{8} \log_2 \frac{2}{8} + \frac{3}{8} \log_2 \frac{3}{8} + \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} \right) = 1,91 \text{ бита.}$$

При диаметре 40 см высота конуса может быть 60 и 80 см. Среднее количество информации о выборе высоты при диаметре 40 см составит

$$m_{в40} = - \left(\frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} \right) = 1 \text{ бит; при диаметре 60 см } m_{в60} = - \left(\frac{2}{3} \log_2 \frac{2}{3} + \frac{1}{3} \log_2 \frac{1}{3} \right) = 0,92 \text{ бита.}$$

При остальных диаметрах (50 и 30 см) высота определяется однозначно (80 и 60 см). Следовательно количество информации об их выборе — $1 \log_2 1 = 0$.

Среднее количество информации в сообщении о выборе конуса по формуле (9) составит $m_{к} = m_{дк} + \frac{2}{8} m_{в40} +$

$$+ \frac{3}{8} m_{\text{вс}} = 1,91 + \frac{2}{8} \cdot 1 + \frac{3}{8} \cdot 0,92 = 2,5 \text{ бита.}$$

Результат не изменится, если начать счет с высоты, а затем перейти к диаметру.

С призмой задача решается аналогично. Из табл. 7 видно, что выбор длины фигуры однозначно определит и выбор призмы. Но предположим, что выбор начинается с ширины. Тогда по формуле (5) $m_{\text{ши}} = - \left(\frac{1}{3} \log_2 \frac{1}{3} + \frac{2}{3} \log_2 \frac{2}{3} \right) = 0,91$ бита.

Если выбор падает на ширину 20, то ей соответствуют различные размеры длины и толщины, а сообщение о выборе одной из них приносит количество информации $m_{\text{пд}} = - \left(\frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} \right) = 1$. А общее количество по формуле (9) составит $m_{\text{п}} = m_{\text{ши}} + \frac{2}{3} m_{\text{пд}} = 0,91 + \frac{2}{3} \cdot 1 = 1,58$ бита.

Таким образом, сообщение о выборе фигуры определенных размеров содержит информации столько же, сколько ее содержится и в сообщении о выборе размеров фигур.

Все три разновидности фигур составляют некоторую систему (сложное событие). Число состояний данной системы, различающихся хотя бы каким-либо параметром одной из фигур, равно произведению количества фигур по каждой разновидности ($3 \cdot 6 \cdot 3 = 54$), а вероятности сочетаний — произведению вероятностей сочетаемых разновидностей фигур. Определив эти вероятности и воспользовавшись формулой (5), получим среднее количество информации в сообщении о состоянии системы, характеризуемом полным комплектом фигур определенных размеров — 5,6 бита.

Тот же результат получим и по формуле (8), $m_{\text{ф}} = m_{\text{ш}} + m_{\text{к}} + m_{\text{п}} = 1,52 + 2,50 + 1,58 = 5,6$ бита.

Нетрудно заметить, что если бы в сообщениях о выборе любой из фигур содержалось одинаковое количество информации $m_{\text{с}}$, то $m_{\text{ср}} = 3 m_{\text{с}}$.

Вернемся опять к условию, что все фигуры участвуют в определении системы с различными вероятностями (табл. 8) и не могут каждый раз встречаться вместе. В этом случае рассматриваемую систему следует представить в несколько ином виде: шар, конус, призма размещены в отдельных урнах по 16 фигур (можно принять любое количество, но кратное знаменателю вероятностей их выбора: 16, 32, 48 и т. д.). Размеры пяти шаров, восьми конусов и трех призм указаны в табл. 5, а все остальные имеют нулевые значения и случайный выбор их означает лишь, что данная группа (фигура) при конкретной выборке в формировании сложного события не участвует.

Решим задачу: какое среднее количество информации содержится в сообщении о параметрах фигур, случайно взятых из трех урн одновременно?

Задачу можно решить путем определения возможных сочетаний фигур и вероятностей их сочетаний с последующим использованием формулы (5). Исходные данные приведены в табл. 9.

Из таблицы видно, что в среднем на 512 выборок из каждой урны все три фигуры будут значащими только 15 раз, значащие шар и конус появятся 65, а все три фигуры с нулевыми значениями — 143 раза. При этом шар во всех сочетаниях появится 160, конус — 256 и призма — 96 раз, что соответствует исходным вероятностям

$$\left(\frac{160}{512} = \frac{5}{16}; \frac{256}{512} = \frac{8}{16}; \frac{96}{512} = \frac{3}{16} \right).$$

Таблица 9

Сочетания	Вероятности сочетаний	Произведение вероятностей
Ш, К, П*	$\frac{5}{16}; \frac{8}{16}; \frac{3}{16}$	$\frac{15}{512}$
Ш, К, —	$\frac{5}{16}; \frac{8}{16}; \frac{13}{16}$	$\frac{65}{512}$
—, К, П	$\frac{11}{16}; \frac{8}{16}; \frac{3}{16}$	$\frac{33}{512}$
—, К, —	$\frac{11}{16}; \frac{8}{16}; \frac{13}{16}$	$\frac{143}{512}$
Ш, —, П	$\frac{5}{16}; \frac{8}{16}; \frac{8}{16}$	$\frac{15}{512}$
Ш, —, —	$\frac{5}{16}; \frac{8}{16}; \frac{13}{16}$	$\frac{65}{512}$
—, —, П	$\frac{11}{16}; \frac{8}{16}; \frac{3}{16}$	$\frac{33}{512}$
—, —, —	$\frac{11}{16}; \frac{8}{16}; \frac{13}{16}$	$\frac{143}{512}$

* Ш — шар, К — конус, П — призма.

Среднее количество информации в сообщении о выборе (невыворе) всех фигур по данным гр. 3 табл. 9 и формуле (5) = 2,6 бита. Но так как каждая из фигур в свою очередь различается размерами, то среднее количество информации в сообщении о трех размерах фигур (по одному у каждой) вычисляется по формуле (9) $m_{cp} = m_{cp}^0 + \frac{5}{16} m_{ш} + \frac{8}{16} m_{к} + \frac{3}{16} m_{п} = 2,60 + \frac{5}{16} \cdot 1,52 + \frac{8}{16} \cdot 2,50 + \frac{3}{16} \cdot 1,58 = 4,61$ бита.

Такой же результат можно получить и без вычисления вероятностей сочетаний, пользуясь формулой (15) с последующим суммированием по формуле (8). По формуле (15) среднее количество информации составляет: в сообщении о

выборе шара (из шаров) $m_{ш0} = - \left(\frac{5}{16} \log_2 \frac{5}{16} + \frac{11}{16} \log_2 \frac{11}{16} \right) + \frac{5}{16} m_{ш} = 0,90 + \frac{5}{16} \cdot 1,52 = 1,37$ бита; о вы-

боре конуса $m_{к0} = - \left(\frac{8}{16} \log_2 \frac{8}{16} + \frac{8}{16} \log_2 \frac{8}{16} \right) + \frac{8}{16} m_{к} = 1,00 + \frac{8}{16} \cdot 2,50 = 2,25$ бита; о выборе призмы

$m_{п0} = - \left(\frac{3}{16} \log_2 \frac{3}{16} + \frac{13}{16} \log_2 \frac{13}{16} \right) + \frac{3}{16} m_{п} = 0,70 + \frac{3}{16} \cdot 1,58 = 0,99$ бита.

Среднее количество информации в сообщении о состоянии системы по формуле (8) в целом составляет $m_{cp} = m_{ш0} + m_{к0} + m_{п0} = 1,37 + 2,25 + 0,99 = 4,61$ бита.

Исключив по формуле (13) пустые сообщения, вероятность которых $P_0 = \frac{11}{16} \cdot \frac{8}{16} \cdot \frac{13}{16} = \frac{143}{512}$ (нижняя

строка табл. 9), получим $m_{cp} = \frac{1}{1 - \frac{143}{512}} \left[4,61 + \left(1 - \frac{143}{512} \right) \log_2 \left(1 - \frac{143}{512} \right) + \frac{143}{512} \log_2 \frac{143}{512} \right] = 5,25$ бита.

Если проанализировать количество информации по

уровням, то выяснится, что на уровне выбора разновидности фигур оно уменьшилось на 0,18 бита, а на уровне фигур внутри их разновидностей увеличилось на 0,82 бита: сокращение общего количества сообщений за счет пустых (на $143/512 \cdot 100 = 28\%$) повлекло за собой повышение информационной нагрузки на остальные сообщения.

Количественная мера качественных определенностей

Количественная мера всегда связана с измерением и полностью зависит как от объективной величины измеряемой качественной определенности, так и точности измерения.

Среднее количество информации в любом сообщении также величина объективная. Она зависит, как уже известно, в дискретных сообщениях только от значений вероятности событий, учтенных в информационной модели, а для непрерывных функций — от точности замера и функции плотности вероятности. Информационная модель и точность замера могут быть выбраны исходя из реальных возможностей и экономической целесообразности, а на вероятностные характеристики мы влиять не можем: они существуют независимо от того, знаем мы их или не знаем.

Поэтому на количество информации в сообщении можно влиять только выбором информационной модели и точности замера. После этого результат совершенно не зависит ни от нашей воли или желания, ни от степени познания системы.

Вместе с тем для определения среднего количества информации в сообщении нужно знать не только принятую модель и точность замеров, но и вероятностные характеристики, изучение которых требует большого количества информации, черпаемой из практики или эксперимента. Для изучения этих объективных данных требуется огромное количество опытов. Достаточно сказать, что даже в такой простой системе, как игральная кость, для 90% гарантии того, что каждая из шести граней кубика попадет в поле зрения хотя бы один раз, требуется не менее 12, а для 95% гарантии — более 20 бросков.

После изучения системы появляется возможность последовательно просмотреть все события и определить среднее количество информации в сообщениях о

них. Поскольку количественная мера относится к качественной определенности и полностью зависит от объективного значения величины последней, постольку для определения среднего количества информации в сообщении воспользуемся формулой (9), в которой m_r — выбор качественной определенности из полной их группы, m_i — информация о количественной мере этих определенностей.

Сообщение о выборе качественной определенности — дискретно, и среднее количество информации в нем (m_r) определяется по формуле (5). Среднее количество информации в сообщении об измерении качественной определенности (m_i), зависящее от точности измерения и функции плотности вероятности, определяется по формуле (7). Тогда среднее количество информации в замере качественной определенности в соответствии с формулой (9) может быть выражено в виде

$$m_{cp} = m_r + \sum_{i=1}^k P_i (-\log_2 \Delta x_i - M_i), \quad (16)$$

где m_{cp} — среднее количество информации в замере качественной определенности; m_r — среднее количество информации в сообщении о выборе качественной определенности; P_i — вероятность выбора i -той качественной определенности ($i=1, 2, \dots, k$); k — общее количество измеряемых качественных определенностей; Δx_i — точность замера i -той качественной определенности; M_i — количество информации, связанной с функцией плотности вероятности измеряемой величины i -той качественной определенности.

Из формулы (16) следует: 1) если речь идет об измерении одной качественной определенности без выбора ее ($P_i=1$), то $m_r = -1 \log_2 1 = 0$ и среднее количество информации в сообщении может определяться по формуле (7); 2) если для всех измеряемых качественных определенностей точность замера и функция плотности вероятности одинаковы ($\Delta x_i = \text{const}$ и $M_i = \text{const}$), то среднее количество информации в сообщении равно сумме средних количеств информации о выборе качественной определенности и величины одной из них, т. е. $m_{cp} = m_r + m_c$, где $m_c = m_i = \text{const}$; 3) если замер не производится, то среднее количество информации в сообщении ограничивается лишь информацией о выборе качественной определенности ($m_{cp} = m_r$).

Предположим, что покупателя интересует вес арбуза, произвольно выбранного в ларьке. Взвешивание арбуза дает покупателю интересующую его информацию, устраняя неопределенность. Чему равно среднее количество информации о результате взвешивания?

Если в ларьке продаются только арбузы и у покупателей нет другого выбора, то в формуле (16) $m_T = 0$, $P_i = 1$. Поэтому для расчета достаточна формула (7). Точность взвешивания всегда известна. Допустим, что в данном случае она составляет 5 г. Если арбузы весят от 1 до 8 кг,

$$\text{то } \Delta x_i = \frac{5}{(8-1) 1000} = 0,000714.$$

Величина M неизвестна, но объективно она существует и влияет на количество информации в сообщении. Ее изучение связано со статистическим изучением подобных ситуаций. Однако если она неизвестна, то среднее количество информации в сообщении может быть вычислено лишь приближенно, с допущениями. При анализе формулы (7) было показано, что если все значения в принятом интервале (от 1 до 8 кг) равновероятны, то $M=0$. Принимая это допущение для рассматриваемого случая, получим $m_{cp} = -\log_2 0,000714 = 10,46$ бита.

Если точность измерения снизить до 10 г, то при прочих исходных данных получим $m_{cp} = 7,13$ бита. Допустим, что вес арбуза можно оценить на глаз с точностью до 1 кг. Тогда визуальное определение веса приносит покупателю $m_{cp} = 2,81$ бита информации.

Второй пример. Предположим, что требуется определить среднее количество информации в сообщении о скорости проходящего автомобиля, причем замер производится прибором, фиксирующим скорость движения пяти (1, 2, 3, 4, 5) марок автомобиля с точностью до 5 км/час; вероятность прохождения машин составляет соответственно 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,25; диапазоны скоростей колеблются от 0 до 70, 80, 80, 120, 100 км/час; количество информации, связанной с функцией плотности вероятности, $M_1 = 0,33$; $M_2 = 0,24$; $M_3 = 0,82$; $M_4 = 0,24$; $M_5 = 0,53$ бита.

Среднее количество информации в сообщении составит:

$$\begin{aligned} &\text{о марке автомобиля по формуле (5) } m_T = -(0,05 \log_2 0,05 + \\ &+ 0,1 \log_2 0,1 + 0,2 \log_2 0,2 + 0,4 \log_2 0,4 + 0,25 \log_2 0,25) = \\ &= 2,04 \text{ бита; о скорости движения по формуле (7) } m_1 = \end{aligned}$$

$$= -\log_2 \frac{5}{70} - 0,33 = 3,49; \quad m_2 = -\log_2 \frac{5}{80} - 0,24 = 3,76;$$

$$m_3 = -\log_2 \frac{5}{80} - 0,82 = 3,18; \quad m_4 = -\log_2 \frac{5}{120} - 0,24 = 4,35;$$

$$m_5 = -\log_2 \frac{5}{100} - 0,53 = 3,80 \text{ бита};$$

о скорости движения автомобиля определенной марки по формуле (9) $m_{\text{ср}} = 2,04 + 0,05 \cdot 3,49 + 0,1 \cdot 3,76 + 0,2 \cdot 3,18 + 0,4 \cdot 4,35 + 0,25 \cdot 3,80 = 5,92$ бита.

6. Информация и энтропия

Энтропия по знаку противоположна информации. Количество информации поэтому отождествляется с отрицательной энтропией. Энтропия является мерой неопределенности, информация снимает неопределенность. Информация как вещество и энергия никогда не создается, а только передается и перерабатывается, а также может бесполезно рассеиваться в пространстве. Из этого вытекает толкование кибернетики как теории организации, упорядочения систем, борьбы порядка с хаосом. Н. Винер пишет: «Как количество информации в системе есть мера организованности системы, точно так же энтропия системы есть мера дезорганизованности системы; одно равно другому с обратным знаком» (12, стр. 55).

Во всяком процессе взаимодействия системы с внешней средой внутри системы протекают информационные процессы, характеризующие состояние системы и определяющие ее поведение. Чем больше степеней свободы в системе, тем выше ее энтропия. Если в каком-либо механизме износились подшипники и шестерни (увеличились, стало быть, зазоры и люфты), то энтропия механизма выросла и для эффективного использования его по назначению требуется дополнительная информация, противодействующая энтропии. Так же и в производственных подразделениях: чем больше неопределенность системы (поломки оборудования, брак, невыходы на работу и т. д.), тем выше ее энтропия, нужно, следовательно, иметь больше и информации об этих явлениях и способах воздействия на систему, чтобы она могла нормально функционировать.

Всякое управление в общем связано с увеличением упорядоченности. В машиностроении, например, беспорядочно нагроможденные в природе руды и каменный уголь преобразуются в упорядоченные формы заготовок, детали и машины. В непроизводственном потреблении, наоборот — упорядоченные в производстве материя и энергия обращаются в хаос, отдавая человеку все необходимое для упорядочения его организма и интеллекта.

Взаимодействие вещей опосредуется энергетическими процессами. Для многих явлений установлена точная количественная связь между изменениями состояния вещества и энергетическим на него воздействием. Известно, например, что для превращения 1 кг воды в пар при внешнем давлении 1 атмосфера требуется 539 больших калорий тепла; при сгорании 1 кг нефти выделяется 10,3—10,8 тыс. больших калорий тепла; поддержание накала спирали электрической плитки требует вполне определенных затрат электрической энергии и т. д. Существует ли аналогичная связь между информационными и энергетическими процессами?

Известно, что для повышения температуры заключенного в сосуд газа требуется затрата внешней энергии. Определенной температуре газа соответствует вполне определенная средняя скорость движения молекул. Максвелл заметил, что если сосуд с газом разделить перегородкой на две части и затем каким-либо образом (с помощью миниатюрного механизма или человекоподобного демона, заключенного в сосуд) молекулы, движущиеся со скоростью, выше средней, задерживать по одну сторону перегородки, а ниже средней — по другую, то это без всякой затраты энергии вызовет очевидное уменьшение энтропии газа и различную температуру по обе стороны перегородки. Если оба отделения сосуда соединить тепловым двигателем, то он будет вырабатывать энергию, т. е. получится вечный двигатель*.

Можно, конечно, предположить, что демон Максвелла не затрачивает никакой энергии на перемещение молекул, так как они всегда движутся и нужно только открывать или закрывать перед ними отверстия в перегородке, пропуская их в нужную сторону. Но демон не может действовать, не получая информации о скорости движения и

* Эта идея изложена Максвеллом в 1871 г. в книге «Теория теплоты».

точке удара молекул о перегородку. А информация представляет собой отрицательную энтропию. Понятия энтропии газа и энтропии как меры неопределенности системы в данном случае совпадают. Изменение же энтропии газа — это внешняя и внутренняя работа, выраженная в калориях на единицу температуры газа (1°C).

Количественную связь информации и энергии А. Лернер убедительно проиллюстрировал следующим примером (28, стр. 354—355).

Энтропия одноатомного идеального газа выражается в натуральных единицах формулой

$$S = N \ln \frac{V}{N} + CN,$$

где C зависит от температуры и массы атомов газов; N — число атомов; V — объем газа.

Сосуд объемом V разделен перегородкой на две части: в одной находится газ I, его объем V_1 , а число атомов N_1 ; во второй части находится газ II объемом V_2 с числом атомов N_2 . Массы атомов и температуры газов равны, следовательно $C_1 = C_2$. В обеих частях сосуда в каждой единице объема газа содержится равное количество атомов, т. е.

$$\frac{N_1}{V_1} = \frac{N_2}{V_2} = \frac{N}{V}.$$

После удаления перегородки газы вследствие диффузии смешиваются. Упорядоченность системы сокращается, энтропия увеличивается.

До смешения газов энтропия всей системы составляла $S_0 = \left(N_1 \ln \frac{V_1}{N_1} + C_1 N_1 \right) + \left(N_2 \ln \frac{V_2}{N_2} + C_2 N_2 \right)$, но так как $\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} = \frac{V}{N}$; $N_1 + N_2 = N$ и $C_1 = C_2 = C$, то $S_0 = N \ln \frac{V}{N} + CN = N \ln V - N \ln N + CN$.

После смешения каждый газ занимает весь объем V . Энтропия при этом $S = \left(N_1 \ln \frac{V}{N_1} + C_1 N_1 \right) + \left(N_2 \ln \frac{V}{N_2} + C_2 N_2 \right) = N_1 \ln V - N_1 \ln N_1 + C_1 N_1 + N_2 \ln V - N_2 \ln N_2 + C_2 N_2 = N \ln V + CN - N_1 \ln N_1 + N_2 \ln N_2$.

$$\begin{aligned} \text{Возрастание энтропии } \Delta S &= S - S_0 = N \ln V + CN - \\ &- N_1 \ln N_1 - N_2 \ln N_2 - N \ln V + N \ln N - CN = -N_1 \ln \frac{N_1}{N} - \\ &- N_2 \ln \frac{N_2}{N} + N_1 \ln N + N_2 \ln N = -N_1 \ln \frac{N_1}{N} - N_2 \ln \frac{N_2}{N} = \\ &= -N \left(\frac{N_1}{N} \ln \frac{N_1}{N} + \frac{N_2}{N} \ln \frac{N_2}{N} \right). \end{aligned}$$

Чтобы снова разделить смешавшиеся газы, необходимо определить принадлежность каждого атома к газу I и II. Вероятность того, что случайно выбранный атом принадлежит к первому газу $p_1 = \frac{N_1}{N}$, ко второму газу $p_2 = \frac{N_2}{N}$.

Информация, получаемая при этом, согласно формуле (5), $m = -(p_1 \ln p_1 + p_2 \ln p_2)$.

Так как смесь содержит N атомов, что требует N опытов, то общее количество информации, полученной в результате «сортировки» атомов газа, составит $I = -N \left(\frac{N_1}{N} \times \right.$

$$\left. \times \ln \frac{N_1}{N} + \frac{N_2}{N} \ln \frac{N_2}{N} \right).$$

Как видно из результата, количество необходимой для разделения атомов информации равно энтропии смешения.

Опровержение парадокса с демоном Максвелла приводит к определению количественной связи между информацией и энергией. Расчеты показывают, что если измерять энтропию S в эргах на градус, а информацию в битах, уменьшение энтропии ΔS за счет приращения информации ΔI приблизительно составляет $\Delta S \approx 10^{-16} \Delta I$ эрг/градус.

Из этих данных следует, что существенное влияние на энергетический баланс системы может оказать только информация, достигшая больших значений. В современных технических системах таких потоков информации пока нет, но в живых организмах они могут оказаться весьма заметными.

7. Экономическая информация

Под этим термином подразумевается вся информация, обслуживающая процессы производства, распределения, обмена и потребления материальных благ. Основная

часть ее приходится на долю общественного производства и производственного распределения и именуется *производственной информацией*.

Формирование, перемещение и преобразование производственной информации и есть процесс управления производством. В этот процесс не входит, однако, информация, опосредующая управление технологическими процессами.

Производственная информация образуется непосредственно в производстве, фиксируется и накапливается главным образом людьми. Носителями ее являются мозг человека, журналы, книги, документы, перфокарты, магнитные ленты и т. д. Средствами передачи информации служат письма, устная речь, жесты, термины, телеграф и т. д., средствами преобразования — арифмометры, счетные машины, ЭВМ и опять-таки мозг человека.

К особенностям экономической, в том числе и производственной, информации относится большое количество составляющих ее единиц и формирований, образующих сложную иерархическую структуру. Связь информационных единиц в процессе формирования, передачи и переработки в основных чертах одинакова для всех носителей информации.

Наиболее распространенными носителями информации являются документы (сообщения и справочники), зафиксированные на бумаге. В них достаточно четко выражены все связи информационных единиц и результаты их переработки. Поэтому рассмотрение экономической информации основывается в значительной мере на анализе документов.

Экономическая информация, содержащаяся в документах, представляет собой данные об определенных предметах, фактах, явлениях, процессах и т. д. Под информационными процессами подразумеваются формирование, передача и переработка данных. Информация о свершившихся фактах относится к *учетным*, об ожидаемых результатах предстоящей деятельности, направленной на достижение конечной цели, — к *плановым*, об итогах сравнения учетных и плановых результатов — к *аналитическим данным*.

Данные образуют различные информационные совокупности, в каждой из которых содержится заглавная, призначная и количественная информация.

Заглавная информация — это конечная последовательность слов, образующих наименования информационных совокупностей. Наименование отражает содержание информационной совокупности и составляющих ее частей, определяя форму и структуру размещения информации на носителе (документе), названия единиц измерения, принятых для выражения данных. Заглавная информация — это информация о самой информационной совокупности без ее информационного содержания. Это, можно сказать, информация о сосуде без информации о его содержимом. Заглавная информация обычно оформляется типографским способом и остается постоянной, а остальная вписывается от руки или печатается на машинке. В ряде случаев данные отделяются от заглавной информации. К данным «26 сентября 1968 г.», например, заголовков «дата» не требуется.

Для машины вообще смысл любой информационной совокупности не имеет никакого значения. Поэтому заглавная информация нужна только для формирования и подготовки документов к печати, однако при машинной обработке совершенно необходим строгий порядок и точный адрес размещения в документе всех единиц информации. Поэтому заглавная информация отделяется от прочих данных, а ее связь (когда это нужно для подготовки информации к печати) с формированием документа осуществляется через систему шифров — идентификаторов.

Призначная и количественная информация — это информационное содержание информационной совокупности. Она состоит из реквизитов. *Реквизит* же — элементарная информационная совокупность, при дальнейшем расчленении которой данные теряют смысл. Такую, например, информационную совокупность, как «разряд», состоящую из шести символов русского алфавита, можно разделить на две части («раз» и «ряд»), не лишенные смысла. Однако ни «раз» как единица счета, ни «ряд» как характеристика расположения каких-либо элементов не имеют ничего общего с исходным словом. Так же и любое число теряет всякую связь с выражаемой им качественной определенностью или количественной мерой, если оно расчленяется на составляющие его цифры. Реквизит состоит обычно из одного, а иногда из нескольких (любая дата, например) слов.

Реквизиты делятся на две разновидности: признаки и основания. *Признаки* характеризуют качественные стороны вещи, явления или процесса, а также обстоятельства, имеющие к ним отношение. *Основания* выражают количественную сторону вещи, явления или процесса. Признаки и основания вместе образуют информационные совокупности — *показатели*. В каждом показателе может быть несколько признаков и лишь одно основание (поэтому оно так и называется). Минимальный состав показателя — один признак, достаточный для определения сущности, и одно основание.

Признаки и основания играют в процессе обработки информации различную роль; по признакам ведется поиск нужных единиц, их выборка, упорядочение, подборка, членение и т. д. Основания используются для расчета необходимых величин.

Из показателей формируются многочисленные информационные совокупности, именуемые информационными образованиями (25, стр. 101). Последние составляют информационные системы.

На рис. 5 представлена схема взаимосвязи различных информационных совокупностей. Она показывает, что в информационную систему входит множество информационных совокупностей, состоящих в конечном счете из элементарных единиц информации — бит.

8. Измерение объемов экономической информации

Измерение объемов экономической информации имеет ряд особенностей, вытекающих, во-первых, из образования заглавной информации, во-вторых, — из формирования множества единиц, в-третьих, — из взаимодействия в информационных процессах человека с машиной.

Заглавная информация упорядочивает структуру расположения единиц внутри совокупностей, уменьшая энтропию информационной системы. Но поскольку в соответствии с законом сохранения информации её количество при упорядочении системы остается неизменным, можно допустить, что некоторая часть информации, извлекаемой из текущих сообщений, переходит в информацию заглавную.

Предположим, что данные о выполнении производственного плана участка изложены в пяти документах.

В каждом из них приводятся сведения об одном из пяти наименований деталей. Эти сведения содержат по одному реквизиту-признаку (название детали) и реквизиту-основанию (число изготовленных деталей). Тогда среднее количество информации, связанное с выбором документа или реквизита-признака, при равновероятности выбора определяется по формуле (4) $m_{cp} = -\log_2 \frac{1}{5} = 2,32$ бита;

связанное с реквизитом-основанием при точности измерения количества 0,01 диапазона возможных величин и равновероятных значений внутри диапазона по формуле (7) $m_k = -\log_2 0,01 = 6,64$ бита; а общее количество по формуле (8) или (9) $m_{cp} = 2,32 + 6,64 = 8,96$ бита.

Данный расчет выполнен в условиях, когда каждый случайно взятый из пачки документ возвращается в произвольном порядке обратно и участвует во всех последующих выборках. Чтобы в этих условиях просмотреть все документы с гарантией 90%, требуется по теории вероятности не менее 10 выборок. Если установить порядок, по которому извлеченный документ в пачку не возвращается, то число выборок сократится до пяти, полностью гарантируется просмотр всех документов, а среднее количество информации с каждой новой выборкой будет уменьшаться в связи с сокращением числа остающихся в пачке документов: $m_{cp} = \frac{\log_2 5 + \log_2 4 + \log_2 3 + \log_2 2 + \log_2 1}{5} = \frac{\log_2 5!}{5} = 1,38$, а с учетом $m_k = 8,02$ бита.

Еще больше упорядочивается система, если данные по всем наименованиям деталей вносятся в один документ и в определенном порядке, скажем, по возрастанию шифров. Тогда энтропия внутри документа в смысле расположения реквизитов равна 0, остается только информация по реквизитам-основаниям, т. е. 6,64 бита по каждой позиции, а в целом $5 \cdot 6,64 = 33,2$ бита. Следовательно, и энтропия системы в результате ее упорядочения сократилась с $5 \cdot 8,96 = 44,8$ до 33,2 бита.

Это и позволяет допустить, что призначная информация при упорядочении системы переходит в заглавную и независимо от степени упорядоченности может определяться количеством информационных единиц, в том числе и реквизитов-признаков, хотя их выбор после упорядочения и становится однозначным. Это в некоторой мере оправ-

дывает использование в практике для определения объемов информации таких единиц, как символы, независимо от того, к какой информации (заглавной, призначной или количественной) они относятся.

Призначная информация включает в себя признаки. Основания выражают главным образом количественную информацию, но вместе с тем и признаки того, что в образумом ими показателе имеются (или отсутствуют) количественные данные. Поэтому количество призначной информации определяется всеми реквизитами, а не только признаками.

Реквизиты-основания, характеризуя количественную сторону экономических процессов, обычно выражают в сообщениях различные величины. Реквизиты-признаки для конкретной информационной совокупности постоянны, хотя некоторые из них и могут в конкретных документах присутствовать в качестве носителей пустых сообщений или отсутствовать вовсе. В первом случае реквизит-основание имеет нулевое значение, во-втором — отсутствует. В первом случае, как указывалось выше, все реквизиты-признаки в сообщении равновероятны, что позволяет использовать для расчета среднего количества информации в сообщении формулы (8) или (9).

Пусть информационная система состоит из четырех картотек по 12 документов, а на один документ приходится в среднем 20 показателей, на один показатель — пять реквизитов.

Тогда каждый уровень системы характеризуется мерой неопределенности — энтропией, измеряемой своими информационными единицами.

Если в качестве информационной единицы принять картотеку, то энтропия для картотек выразится $\mathcal{E}_k = -\log_4 4 = -1$ картотекоединица; для документов $\mathcal{E}_d = -\log_{12} 12 = -1$ документоединица; для показателя $\mathcal{E}_n = -\log_{20} 20 = -1$ показатель; для реквизита $\mathcal{E}_p = -\log_5 5 = -1$ реквизит; всего по формуле (8) $\mathcal{E} = -(\mathcal{E}_k + \mathcal{E}_d + \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_p) = 1$ картотекоединица + 1 документоединица + 1 показатель + 1 реквизит.

Все единицы информации различны, поэтому для суммирования их необходим единый измеритель. Пусть им станет реквизит. Чтобы свести все остальные единицы к реквизиту, нужно провести их логарифмирование по существу реквизиту основанию, т. е. основанию 5.

Известно, что для перехода от логарифма с одним основанием к логарифму с другим основанием необходимо первый умножить на отношение логарифмов их оснований, т. е. $\mathcal{E} = - \left[(\log_4 4) \frac{\lg 4}{\lg 5} + (\log_{12} 12) \frac{\lg 12}{\lg 5} + (\log_{20} 20) \frac{\lg 20}{\lg 5} + (\log_5 5) \right] = \frac{\lg 4 + \lg 12 + \lg 20 + \lg 5}{\lg 5} = \frac{\lg 4800}{\lg 5} = -5,27$ реквизи-
визита.

Если привести их к двоичному логарифму, то $\mathcal{E}_2 = \frac{\lg 4800}{\lg 5} \cdot \frac{\lg 5}{\lg 2} = \frac{\lg 4800}{\lg 2} = -12,26$ бита.

Такой же результат получится при определении энтропии непосредственно, исходя из общего количества реквизитов в системе: $4 \cdot 12 \cdot 20 \cdot 5 = 4800$ реквизи-
тов; $\mathcal{E}_2 = -\log_2 4800 = -12,26$ бита.

Таким образом, практикуемые сейчас методы определения количества информации в системе по числу показателей, реквизи-
тов или символов (десятичных и буквенных) не только не вступают в противоречие с основными положениями теории информации, а, наоборот, вполне обосновываются ею. При механизированной обработке информации измерение объемов в символах также вполне оправдывается тем, что в обработку вводятся все символы, причем чрезмерно длинные слова могут заменяться более короткими шифрами.

Однако энтропия системы, выраженная в символах, не точно характеризует действительную ее величину. При измерении в символах по формуле (8) не учитываются возможные различия в содержании информационных совокупностей одинаковых уровней и в вероятностях появления тех или иных единиц в зависимости от частоты их формирования. Если учесть эти моменты, то энтропия, выраженная в символах, окажется завышенной.

Кроме того, каждая единица информации в экономических информационных системах содержит обычно большее количество символов, чем этого требует среднее количество информации в сообщении о ней. Общее положение о том, что одна десятичная единица информации равна 3,32 бита, нельзя относить к единицам информации, рассматриваемым в настоящем параграфе. Бит — это информация, полученная в результате опыта при двух

его равновероятных исходах, а любая из рассматриваемых в данном параграфе единиц содержит множество информации, характеризующей не только выбор, но и те состояния, на которые он приходится. Здесь не исключается полностью семантическое содержание сообщения (особенно в заглавной информации).

Предположим, что цех выпускает два вида изделий и от него поступило сообщение об их выпуске за сутки.

Такое сообщение, во-первых, является сложным: в нем, по крайней мере, должны быть дата, наименования и количество изготовленных изделий.

Во-вторых, количество информации о дате равно 0, поскольку в данном сообщении никакая другая дата не может стать результатом испытания. Тем не менее информация о дате вводится в документ; она может потребоваться в будущем.

В-третьих, хотя наименования изделий составляют только две позиции, число символов, которыми они обозначаются, значительно больше, чем требуется для выбора одного из двух возможных. Дело в том, что уже в пределах предприятия приходится делать выбор из большого числа наименований и перекодировка их для каждого цеха пока считается нецелесообразной.

В-четвертых, информация о числе сданных деталей приводится не как данные о некотором значении внутри известного интервала, а обычно в символах десятичного алфавита.

Все это приводит к тому, что прямой связи и соизмерения единиц информации документов с единицами информации дискретных сообщений нет. Продолжив ранее проведенную аналогию с весом, можно сказать, что если 1 кг вещества всегда весит 1000 г., то объем его не всегда один и тот же, поскольку оно может иметь различную форму (куски или пыль). По такой же аналогии бит (или десятичная единица) служит как бы для взвешивания информации, а символы — для измерения ее объема.

Элементарными единицами информации, как уже указывалось, являются бит или двоичные символы (1 или 0), а затем — символы десятичные и буквенные. Каждый символ несет информацию лишь о том, что он выбран из известного ограниченного числа символов. Чтобы символ нес информацию о каком-либо событии, последнее должно быть помечено этим символом. Если из алфавита,

имеющего 32 символа, выбираются только два для обозначения двух равновероятных событий, то сообщение о любом из них по формуле (5) дает только 1 бит информации. Символ же состоит из пяти двоичных знаков, и его выбор из 32 возможных требует 5 бит информации.

В рассмотренном выше примере расчет энтропии информационной системы позволяет сделать выводы и о минимальной размерности шифров реквизитов на всех уровнях. Для картотеки необходимо иметь $\log_2 4 = 2$, для документа $\log_2 12 \leq 4$, для показателя $\log_2 20 \leq 5$ и для реквизита $\log_2 5 \leq 3$ двоичного знака. Всего $2+4+5+3=14$ двоичных единиц. В связи с округлениями в большую сторону на всех уровнях это число заметно превышает полученное выше значение энтропии системы (12,26 бита).

Подобный принцип шифровки информационных единиц и применяется обычно в экономических системах, но, как правило, в десятичных единицах. В связи с округлениями это в еще большей степени увеличивает избыточность символов.

Таким образом, избыточная длина слов, выбранных для обозначения событий, увеличивает в документе количество совершенно бесполезной информации. Поэтому информация документов, выраженная в символах, во-первых, теряет тесную связь с информацией, содержащейся в документе как в сообщении о событии, существенно превышая ее (по некоторым исследованиям заводских информационных систем завышение достигает 60—70%). Во-вторых, равное количество информации в документах, выраженное в новых единицах, не означает равного количества информации в самом сообщении, изложенном в документе. Как количество сахара в мешке сахарной свеклы не равно количеству его в таком же мешке сахарного тростника, так и в документах с равным объемом информации, выраженном в символах, не обязательны равные количества полезной информации.

9. Идентификация единиц информации

Всякое использование информации связано прежде всего с ее поиском, а нахождение возможно лишь тогда, когда известно, по каким признакам нужно ее искать и где она лежит. Размещение информации на носителях

также связано с отличительными признаками различных единиц информации. Все это требует информации об информации. Как уже указывалось, такая информация получает форму заглавной, по которой люди обычно и находят нужную им единицу.

Однако при машинной обработке заглавная информация не может быть использована для размещения и поиска требуемых единиц. Наименования документов всегда составляются так, чтобы по их смыслу можно было судить о содержании единицы информации. Поэтому они обычно весьма пространны, но вместе с тем в ряде случаев могут быть использованы только вместе с заглавной информацией, зафиксированной в человеческой памяти. Многие мелкие единицы вообще не получают в документе наименования, так как они общезвестны.

Для машины смысл наименований совершенно безразличен, и из человеческой памяти она ничего извлечь не может. Поэтому при машинной обработке данных пространные и недостаточно точные наименования заменяются на короткие, но совершенно точные шифры — идентификаторы, присваиваемые каждой единице информации. Идентификатор — это заменяющий заглавную информацию реквизит-признак, условный шифр единицы информации, связывающий ее со всей информационной совокупностью и обеспечивающий нахождение ее среди множества других единиц.

Все единицы информации состоят из информационных совокупностей, которые являются частями более крупных информационных образований и в свою очередь делятся на части. Схема (рис. 5) показывает, что крайней снизу информационной совокупностью является реквизит, крайней сверху — информационная система. Информационная система в свою очередь может входить составной частью в более крупную систему. Информационная система предприятия, например, — часть информационной системы министерства. Вместе с тем иерархия построения информационных совокупностей наблюдается не только в связи с иерархией управления, но и в рамках отдельных документов и других информационных образований.

Документ, изображенный на рис. 6, представляет собой одну из информационных единиц и в то же время информационную совокупность. Всем единицам, составляющим совокупность, присвоены идентификаторы, про-

ставленные на том же рисунке. Сам рапорт, как единица информации, входит в информационную совокупность — документ о выполнении плана по цеху.

Идентификаторы отражают особенности построения информационных образований. Первая цифра за буквой И, означающей «идентификатор», показывает уровень — степень иерархической лестницы информационной систе-

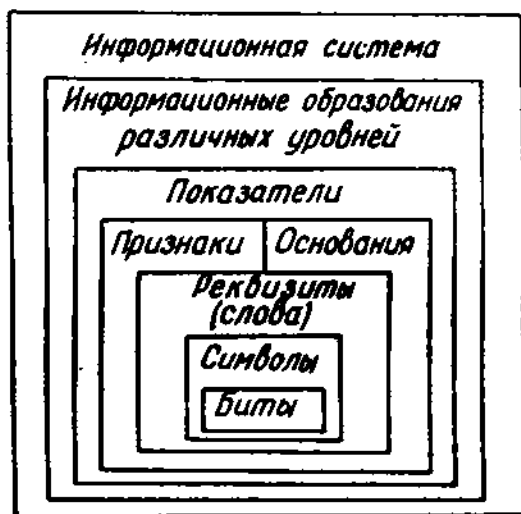


Рис. 5. Структура информационных совокупностей

мы, вторая — порядковый номер информационных образований на этом уровне. Когда в информационное образование входит несколько одинаковых единиц, им присваивается один идентификатор, но перед ним пишется число, указывающее количество единиц.

На рис. 7 приводится структурная схема документа, изображенного на рис. 6. Рапорту о выполнении плана присвоен шифр 8И41. 8 означает, что таких рапортов 8 (по числу участков кузнечного цеха № 2). Они образуют единицу информации И31 — «Рапорт о выполнении плана по цеху». Таких цехов на заводе 12. Все 12 единиц информации И31 входят в показатель выполнения производственного плана по заготовительным цехам завода. Таких единиц информации К. Они образуют показатель выполнения производственного плана по заводу.

Кроме этого показателя, по заводу формируются и другие: выполнение плана по реализации, по себестоимости, по труду и т. д. На схеме (рис. 7) приводится n таких

Минский тракторный завод

И51	Минский тракторный завод		И61	Участок	3	И62					
	И52	Цех					Кузнечный № 2	И61	И62		
И53	Рапорт о выполнении плана за 15 октября 1968 г.										
И54	№ п.п.	№ детали	Наименование	План, шт.		Выполнение					
				И62	И63	И64	И65				
И55	1	36—17043108	Шестерня	21000	840	10080	1243	148,0	9344	92,7	
											И61
И56	2	36—17062142	Втулка	42000	1680	20160	1840	109,5	23141	114,8	
											И61
И56	3	38—17070385	Вал	120000	4800	57600	4221	87,9	53820	90,3	
											И61
И56	15	40—17014316	Диск	148000	5920	71040	—	—	84345	118,7	
											И61
И55	Всего, т		И61	И62	И63	И64	И65	И66	И67	И68	
И56	Ст. мастер	Кунявский	И61	448,4	17,9	215,2	13,9	77,7	226,9	105,5	
И56	Экономист	Ясинский	И61								И62

Рис. 6. Документ «Рапорт о выполнении плана» с идентификаторами информационных единиц

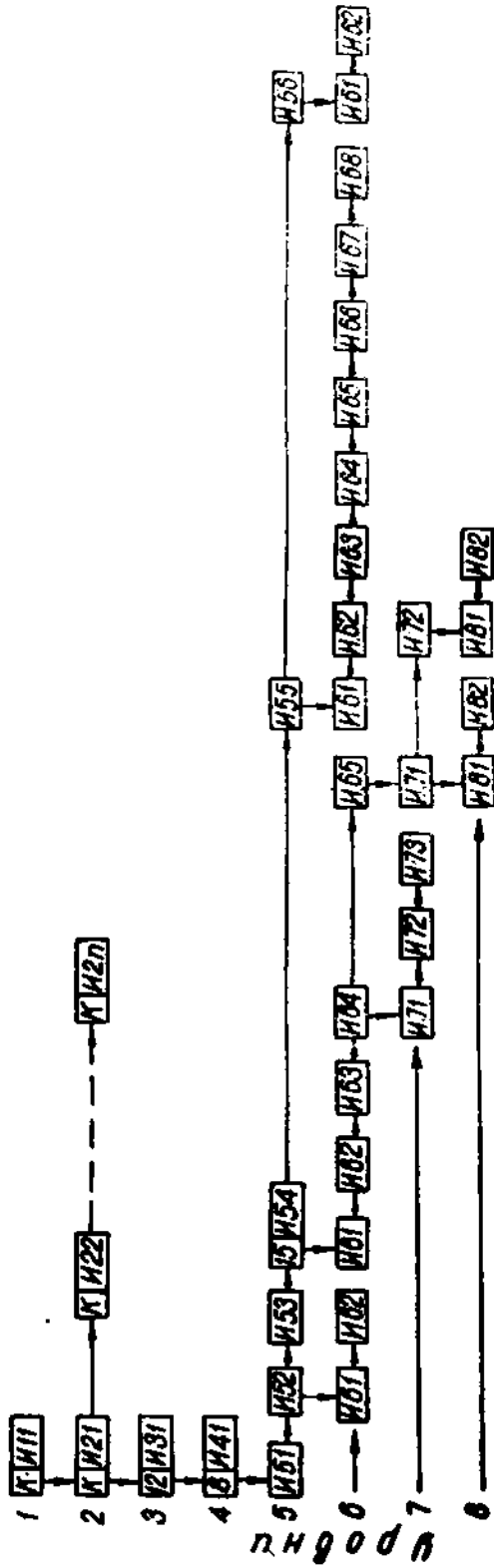


Рис. 7. Структурная схема состава документа, изображенного на рис. 6

ИИ21—идентификатор «идентификатор»; 2—уровень «данного информационного образования»; I—обозначение «данного информационного образования»; ИИ21—число порядковых номеров информации ИИ21 в данном информационном образовании

информационных образований на втором уровне. Вместе взятые, они составляют K единиц информации первого уровня.

В самом документе показано пять уровней: 4, 5, 6, 7, 8.

Каждый из восьми документов И41 состоит из шести единиц информации следующего — 5-го уровня. Из них И51 — «Минский тракторный завод» и И53 — «25 октября 1968 года» на составляющие части не делятся; И52 включает в себя И61 — «кузнечный цех № 2» и И62 — «участок 3»; И54 состоит из 15 одинаковых единиц информации, каждая из которых включает в себя И61 — порядковый номер (1), И62 — № детали (36—1704108), И63 — наименование (шестерня), И64 — план (21000; 840; 10080). Единица информации И64 в свою очередь состоит из И71 — месячный план (21000), И72 — суточный план (840) и И73 — план с начала месяца (10080) и т. д.

По схеме можно установить связь между всеми единицами информации и их иерархию. Вместе с тем на одном и том же уровне у различных единиц информации образуются одинаковые идентификаторы. Следовательно, одного идентификатора для ссылки на ту или иную единицу недостаточно, требуются идентификаторы, связывающие единицы различных уровней и позволяющие ссылаться на любую единицу информационной совокупности.

С такой целью создано несколько видов идентификации: структурная, системная, процедурная.

Структурная идентификация основана на принципе описания структуры информационной системы (рис. 7), предполагающем последовательное перечисление идентификаторов всех уровней и преобразование их в уникальные идентификаторы. Последние могут быть *глобальными*, т. е. уникальными для всей информационной системы, и *локальными* — уникальными только в рамках информационных образований.

Из структурной схемы (рис. 7) видно, что одними и теми же идентификаторами обозначены различные данные. И71 в И65, например, — выполнение плана за сутки, И71 в И64 — месячный план. В свою очередь И65 в И55 — это выполнение суточного плана в тоннах, И65 в И54 — выполнение плана в штуках и %.

Следовательно, для точной ссылки на те или иные данные требуется соединить в один расположенные по

вертикали идентификаторы. Так, ссылка на И81 (выполнение за сутки в штуках) достигается последовательным перечислением идентификаторов: И11, И21, И31, И41, И54, И65, И71, И81. Если в этой последовательности не повторять каждый раз И, адрес все равно потерян не будет. Тогда получим: И11, 21, 31, 41, 54, 65, 71, 81.

В этом идентификаторе числа, характеризующие уровень, изменяются от одного уровня к другому на единицу. Следовательно, сохранив одно из чисел, можно по их последовательности всегда определить, о каком уровне идет речь. Это усложняет чтение, но сокращает индекс без ущерба для точности адреса. В частности, только что описанный индекс можно изобразить так: И11, 1, 1, 1, 4, 5, 1, 1.

Это и есть глобальный идентификатор, в котором обобщена следующая информация: в информационной совокупности И11, характеризующей работу завода, есть совокупность данных И21 о выполнении производственного плана, включающая информацию о выполнении плана цехами — И31 и участками — И41, а в информации о выполнении плана участками по деталям их номенклатуры И54 есть данные о сдаче продукции — И65: за сутки И71, в штуках И81.

Часто не требуется уникальности идентификатора в рамках всей информационной системы. Если в данном примере ограничиться информационным образованием И41 (рапорт о выполнении плана), то локальный идентификатор примет вид: И41, 4, 5, 1, 1.

Системная идентификация базируется на присвоении каждому реквизиту шифра в порядке размещения реквизитов в их полном номенклатурном перечне информационной системы. Так, перечень реквизитов информационной системы «Рапорт о выполнении плана» (рис. 6), может быть составлен так: 1 — рапорт о выполнении плана, 2 — завод, 3 — цех, 4 — участок, 5 — дата, 6 — порядковый номер, 7 — номер детали, 8 — наименование детали, 9 — план месячный (шт.), 10 — план суточный (шт.), 11 — план с начала месяца (шт.), 12 — выполнение за сутки (шт.), 13 — выполнение за сутки (%), 14 — выполнение с начала месяца (шт.), 15 — выполнение с начала месяца (%), 16 — единица измерения объемного выполнения плана (т), 17 — план месячный (т) и т. д. Всего, как видно из документа, в нем 25 реквизитов, в том числе

14 оснований и, стало быть, 14 показателей: план месячный (шт.), план суточный (шт.), план с начала месяца (шт.), выполнение суточное (шт.), выполнение суточное (%) и т. д.

В таком перечне реквизитов их идентификатор принимает вид $P [П]$, где P — реквизит, $П$ — его порядковый номер, $P[12]$ означает выполнение плана за сутки, $P[9÷11]$ — план, $P[12÷15]$ — выполнение. $P[1] = P[2÷25]$ означает, что рапорт о выполнении плана $P[1]$ состоит из 24 реквизитов, начиная с $P[2]$ и кончая $P[25]$.

Если реквизит относится к некоторому множеству позиций (в рассматриваемом, например, документе выполнение плана указывается по 15 деталям), то каждая позиция обозначается $P[П(Н)]$, где P — реквизит; $П$ — порядковый номер реквизита в перечне; $Н$ — порядковый номер позиции в данном множестве реквизитов. В рассматриваемом документе выполнение с начала месяца плана по выпуску детали 36-1706242 обозначается $P[14[2]]$. Сам документ $P[1]$, относящийся только к участку 3 (из восьми), получает шифр $P[1[3]]$.

Информационная система не ограничивается документом одной формы. Поэтому наряду с полной номенклатурой реквизитов необходима полная номенклатура и других информационных единиц (картотеки, журналы и другие документы). Если какая-либо форма в полном перечне документов I занимает место $Ф$, то ей присваивается шифр $I[Ф]$. Поэтому если в перечне документов рассматриваемый рапорт о выполнении плана по участку 3 занимает позицию 42, то его шифр будет не $P[1[3]]$, а $I[42[3]]$.

Поскольку при системной идентификации перечень реквизитов составляется для информационной системы в целом, одно и то же обозначение может встретиться в различных документах. Выполнение, например, плана за сутки в штуках, в том числе и по одному наименованию, относится к участку и заводу. Для обеспечения уникальности идентификаторов требуется ссылка на образования более высоких уровней. Наиболее общим видом идентификации является применение многоиндексных переменных, т. е. использование последовательности индексов, обозначающих информационные образования. (6, 122, 43, 8), к примеру, означает ссылку на единицу информации,

находящуюся в 6-й картотеке, 122-м документе, 43-й строке, 8-й графе.

Процедурная идентификация заключается в присвоении единицам информации идентификаторов для выполнения только данной процедуры и в ее рамках. При этом в различных процедурах одни и те же единицы информации могут иметь неодинаковые идентификаторы. Такие идентификаторы уникальны только в рамках процедуры, но вместе с тем обеспечивают связь единиц информации с их полными наименованиями, уникальными в рамках информационной системы.

При развитых алгоритмических языках в качестве идентификаторов могут использоваться сокращенные или полные наименования единиц информации и даже несколько эквивалентных наименований, например, кузнечный цех № 2, второй кузнечный, кузнечный 2, цех № 2 и др.

Идентификаторы используются для поиска необходимых единиц информации. Однако, как указывалось выше, одна и та же единица информации может иметь различное информационное содержание. В рассмотренном выше документе (рис. 6), например, каждые сутки появляется новая дата, встречаются различные номера и наименования цехов, участков, деталей; не обязательны одни и те же подписи; количественные данные, характеризующие выполнение плана, обычно лишь случайно могут оказаться одинаковыми и т. д.

Под необходимой же для расчетов единицей информации часто подразумевается не любая единица данного шифра, а лишь имеющая определенное информационное содержание—конкретный цех или участок, дата или диапазон дат (неделя, месяц и т. д.), номера деталей или взаимосвязь между ними (возрастающая или нисходящая последовательность), уровень выполнения плана (до 100 или более 100%), фамилия мастера и т. д.

Поэтому поиск связан не только с адресом единицы информации — идентификатором, но и с выборкой из общего множества одинаковых по форме и структуре единиц информации, содержание которых отвечает заданным требованиям.

Это достигается различными операциями обработки данных, основанными на использовании математической логики.

10. Обработка экономической информации

Экономическая информация при машинной обработке проходит ряд операций. Ее преобразование схематично представлено на рис. 8 (25, стр. 99 и др.). Из схемы видно, что система связана с внешней средой входной и выходной информацией. Входная информация поступает в готовом виде. Все вопросы, связанные с преобразованием информации, вызванными техническими требованиями ее передачи и переработки (перекодирование, перезапись, борьба с помехами и т. д.), здесь не рассматриваются. Входная (внешняя и внутренняя) и промежуточная (используемые результаты прежних расчетов) информация делится на необрабатываемую и обрабатываемую. Последняя образует исходную информацию, поступающую на обработку. Результатом обработки является производная информация, которая вместе с необрабатываемой образует выходную внешнюю и внутреннюю, а также промежуточную информацию, используемую в последующих расчетах.

Содержание информационных процессов составляют движение и преобразование всех приведенных на схеме видов информации. Основные переделы информации в этих процессах следующие: сбор информации, формирование, накопление, хранение и передача данных; обработка информации; выдача результатов на носители, обеспечивающие восприятие данных объектом управления.

Каждый из переделов — сложный комплекс операций, автоматизация которых требует решения множества технических проблем. Важнейшим из них является обработка информации, в процессе которой одновременно решаются проблемы технического, математического и экономического характера.

Однако в настоящее время автоматизация управления производством часто сводится только к применению электронных вычислительных машин. При использовании ЭВМ переделы информации собраны вместе, но удалены от объекта управления и отделены от него значительной прослойкой неавтоматизированного труда управленческих работников. Но и при автоматизации процессов сбора, фиксирования, передачи входной и выходной информации содержание и результаты этих процессов в зна-

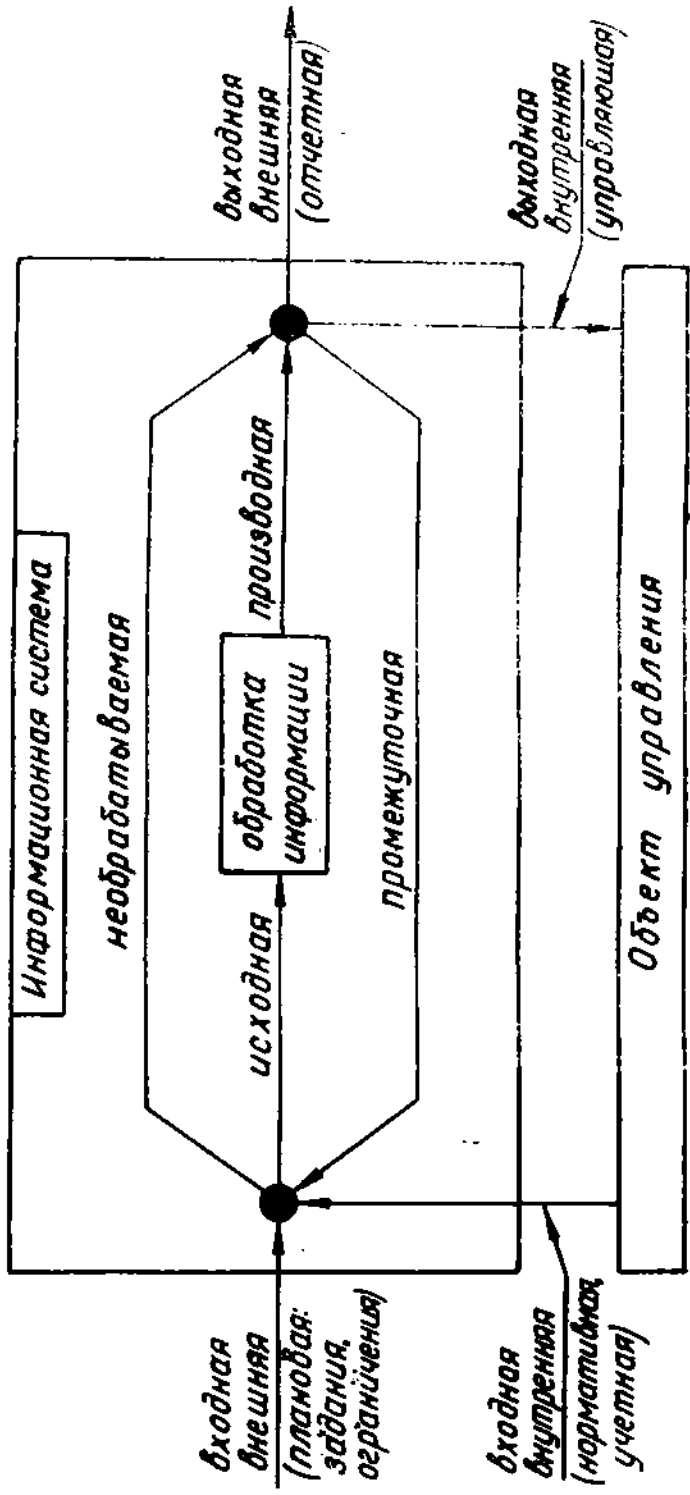


Рис. 8. Схема преобразования информации в информационных процессах

чительной мере подчиняются требованиям обработки информации, поскольку именно в них воплощаются все претензии к качеству управления объектом.

Целью и основным содержанием процесса обработки информации является преобразование информационных совокупностей, обеспечивающее переработку входных данных в выходные, выбор из всей совокупности входных данных необходимой для расчетов исходной информации, а также разделение производной информации на выходную (внешнюю и внутреннюю) и промежуточную информацию.

К числу преобразующих информационные совокупности относятся операции, изменяющие: 1) порядок следования единиц информации (сортировка, компоновка, упорядочение) в зависимости от их содержания; 2) структуру построения информационных образований (объединение, расчленение, выборка, пересечение); 3) информационное содержание единиц информации (арифметические и логические операции).

80—90% содержания всех операций составляют действия, использующие математическую логику. Этим определяется специфика требований к ЭВМ, используемым для переработки экономической информации.

11. Методы описания информационных потоков

Обработка информации, как и обработка любого предмета труда, немыслима без движения. По скорости и расстояниям движение информации во много раз превосходит движение вещей. С какой бы скоростью и на какое бы далекое расстояние ни удалялись от Земли космические корабли, информация об их положении в пространстве и команды, корректирующие их движение, многократно покрывают пройденные ими расстояния. Когда прекращается связь с запущенным с Земли космическим объектом, он перестает существовать и для нас.

В производстве все предметы труда движутся как бы в горизонтальной плоскости, по рабочим местам и не отрываясь от них. Информация же о движении и видоизменении предметов труда, о состоянии других средств производства «снимается» с рабочих мест. Наряду с движением по горизонтали, огромные потоки производственной информации устремляются вверх, идут от рабочего места

через различные инстанции все выше и выше. Претерпевая многочисленные операции обработки, они доходят до руководящих органов страны, а затем движутся обратно, снова опускаясь до рабочих мест, включают их в единый процесс общественного производства и управляют ими. Поэтому организация потоков информации занимает в управлении одно из важнейших мест.

Из известных практике методов описания потоков информации наиболее распространены табличный, блочный и матричный.

Табличный метод заключается в составлении таблиц, в которых по строкам указываются виды информации, по колонкам — производственные точки образования, движения и потребления информации. Если данный вид информации попадает в данную производственную точку или возникает в ней, на пересечении строки с колонкой ставится кружок. Стрелками по вертикали указывается преобразование одного вида информации в другой, по горизонтали — направление передачи информации от одной производственной точки к другой.

Такой метод позволяет определить главным образом точки преобразования и движения информации в информационных процессах.

На рис. 9 изображена таблица преобразования и движения некоторых видов информации производственного цеха. В таблице производственные точки расположены в порядке иерархической последовательности звеньев управления, что позволяет различать два явно выраженных направления движения информации: снизу вверх и сверху вниз. По схеме можно проследить, например, как месячный план передается из заводоуправления через начальника цеха в планово-диспетчерское бюро (ПДБ) цеха. Здесь он с учетом выполнения плана за истекший период (пунктирная стрелка) преобразовывается в планы-графики участков и передается мастерам, которые определяют задания рабочим и передают их на рабочие места.

В противоположном направлении движется учетная информация. На рис. 9 видно ее движение от точки к точке (по строкам) и преобразование из одного вида в другой (по колонкам).

Блочный метод — это изображение пунктов получения, переработки и выдачи информации в виде блоков с

входами и выходами информации. Блоки могут быть соединены в общую схему. На рис. 10 изображены блоки «рабочее место» и «мастер» по данным предыдущей таблицы (рис. 9).

Блочный метод позволяет определить главным образом функции и территориальное размещение точек преобразования информации, что весьма существенно при раз-

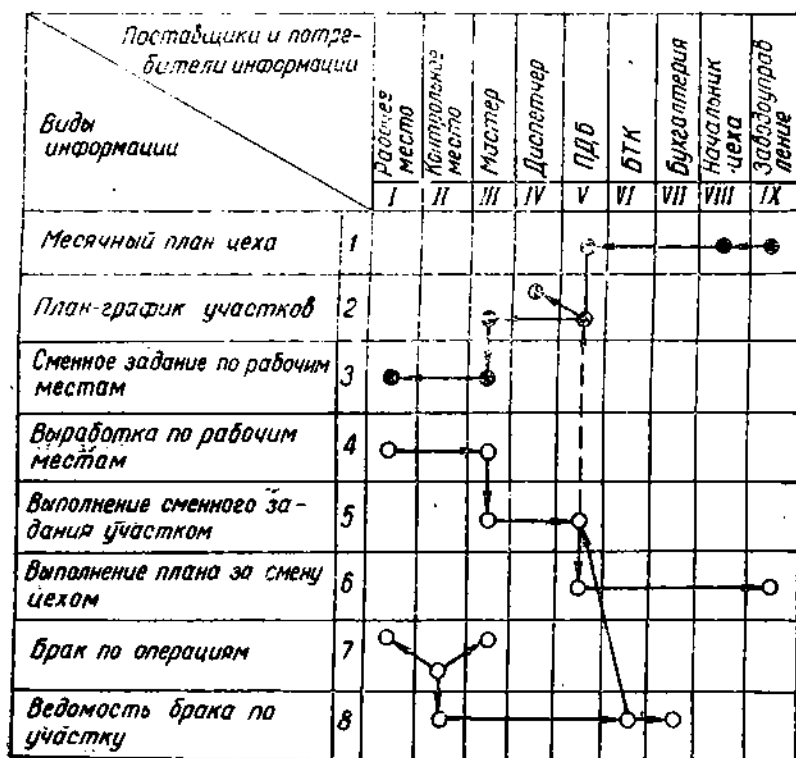


Рис. 9. Табличное изображение потоков информации

работке и использовании технических средств и каналов связи для реализации информационных процессов.

Для общей оценки информационных потоков производственных подразделений (без рассмотрения точек преобразования информации внутри этих подразделений) могут быть использованы матричные методы.

Матричный метод основан на построении матричной информационной модели, т. е. таблицы, отражающей связи между документами и показателями данного производственного подразделения и документами и показателями внешних подразделений.

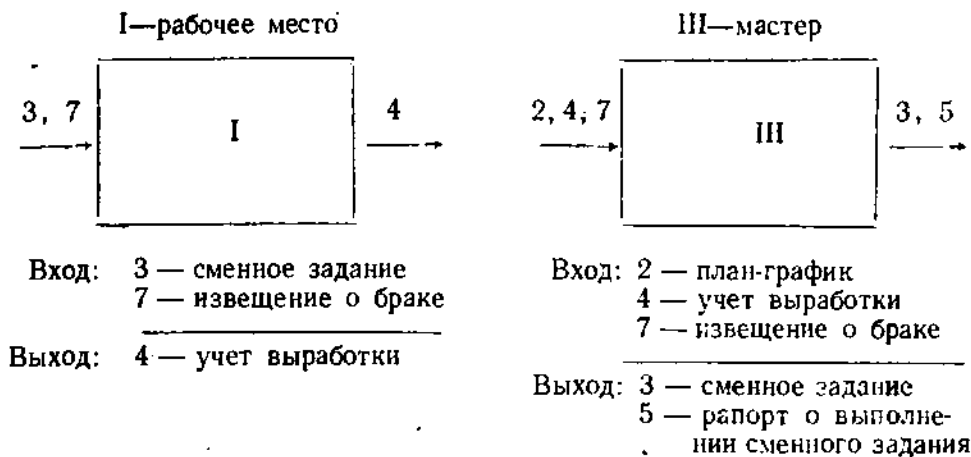


Рис. 10. Изображение потоков информации в виде блоков

Существуют два основных вида моделей: «документ на документ» и «показатель на показатель». На рис. 11 дана схема матричной модели «документ на документ», состоящей из четырех квадрантов.

В первом квадранте представлен по строкам и колонкам полный перечень (1, 2, 3, ..., m) всех документов

	Перечень документов		Перечень внешних потребителей	Периодичность	Значность	Трудоёмкость
	используемых	разрабатываемых				
		1, 2, 3, ..., m				
	1 2 3 . . m	I квадрант	II квадрант			
Перечень документов внешних поставщиков	1 2 3 . . l	III квадрант	IV квадрант			

Рис. 11. Матричная информационная модель

подразделения. Если одни документы используются для разработки других, это обстоятельство отмечается крестиками в местах пересечения соответствующих строк и колонок. Таким образом, по каждой строке I квадранта отмечены крестиками те документы производственного подразделения, для разработки которых используется информация данного документа, а по каждой колонке — документы, используемые для его разработки.

Во втором квадранте показаны все внешние получатели (1, 2, 3, ..., k) документов подразделения. По каждой строке квадранта II отмечены крестиками все подразделения (от 1 до k), использующие данный документ; по каждой колонке — все документы (от 1 до m), используемые в данном подразделении.

В квадранте III показаны все документы (1, 2, 3, ..., l), поступающие в данное подразделение от подразделений внешних. Использование их для разработки документов в данном подразделении отмечается крестиком. При этом по каждой строке квадранта III видны все документы (от 1 до m), для разработки которых используются документы внешних поставщиков, а по колонкам — документы внешних поставщиков, используемые для разработки данного документа.

Квадрант IV показывает, какие документы внешних поставщиков используются не только в рассматриваемом подразделении. В каждой строке квадранта отмечены подразделения, использующие данный документ, в каждой колонке — документы внешних поставщиков, используемые в том или ином производственном подразделении.

Модель «показатель на показатель» отличается от рассмотренной тем, что для документов отводится столько строк и колонок, сколько в них имеется показателей.

Модели «показатель на показатель» велики по размерам. Поэтому для анализа их используются ЭВМ. В этом случае составляются перечни показателей с указанием документов, в которые они входят, и перечни документов с указанием их поставщиков и потребителей.

Предметами анализа являются выявление в потоках информации неувязок (отсутствие, например, выходов или входов данных); определение во всей информационной системе и по подразделениям количества внутренних и внешних, исходных и производных, плановых и учетных документов и показателей, периодичности и трудоемко-

сти составления документов; выявление многократности повторения одних и тех же показателей и т. д.

Потоки документов и показателей весьма значительны. По данным ЦЭМИ АН СССР (20, стр. 78), на камвольном комбинате, например, только по основному производству ежедневно обрабатывается 2700 документов, в бухгалтерии химического комбината создается и обрабатывается 220 форм документов. На Московском станкостроительном заводе за год обрабатывается около 1 млн. документов, бухгалтерия заполняет около 550 различных форм, в которых содержится около 10 тыс. реквизитов. Без применения ЭВМ невозможна не только переработка этой массы документов и показателей, но и анализ потоков информации, образуемых ими.

В настоящее время большинство документов создается в результате немеханизированного ручного труда. Поэтому трудоемкость их формирования весьма велика. Методикой ЦНИИТУ (29, стр. 24) рекомендуется следующая формула расчета трудоемкости ручной обработки документа (в секундах):

$$N = 0,45 Q_3 + 1,8 Q_{\text{л}} + 1,125 Q_{\text{с}} + 3,71 Q_{\text{у}} + 4,05 Q_{\text{д}},$$

где Q_3 — общее количество символов; $Q_{\text{л}}$ — количество сравнений и округлений; $Q_{\text{с}}$ — количество символов слагаемых, уменьшаемых и вычитаемых; $Q_{\text{у}}$ — количество символов множимых и множителей; $Q_{\text{д}}$ — количество символов делимых и делителей.

Эта формула выведена по эмпирическим данным, согласно которым длительность сложения человеком двух четырехзначных чисел = 9 сек., а трудоемкость записи составляет 0,2, сравнения и округления — 0,2, вычитания — 1, умножения — 3,3, деления — 3,6 от трудоемкости сложения. Результат, полученный по формуле, рекомендуется увеличивать в 1,4 — 2 раза за счет дополнительных затрат времени на сбор, передачу, поиск информации и другие вспомогательные действия.

Довольно мощные потоки визуальной и устной информации не оформляются документами. Визуальная информация наименее эффективна в том смысле, что часто ни одно событие или явление, находящееся в поле зрения человека, не заслуживает внимания: все они свидетельствуют о полном благополучии и об отсутствии необходимости в каких-либо управляющих воздействиях.

Это относится не только к человеку, но и к любому измерительному прибору. Так, фотоэлемент счетчика количества отштампованных на прессе заготовок информацию о происходящих перед его окуляром событиях воспринимает непрерывно, но импульс тока вырабатывает в тот момент, когда перед ним проходит раскаленный кусок металла.

При визуальных наблюдениях из многочисленной информации о явлениях или свойствах вещей выбирается и передается в различные инстанции только информация, нужная для принятия решения об управляющих воздействиях. В этом и состоит их эффективность.

Устная информация — это обычно данные, уже поступившие в управляющую систему. Они передаются либо в том же виде, в каком и поступили, либо перерабатываются в обобщения, советы, рекомендации, команды и т. д. Это главным образом оперативная информация. Устная информация отличается от документальной излишней многословностью, приводящей иногда к искажению смысла у ее потребителей.

В настоящее время потоки оперативной (устной и документальной) информации в производстве довольно велики. Так, по данным ЦНИИТУ, при средней пропускной способности мастера 2,3 бит/сек на него в течение смены нагружается в среднем 8—10 бит/сек, в конце смены — в 1,5—2 раза больше. В результате значительная часть информации не воспринимается и не используется, существенно снижая эффективность принимаемых решений. Все это свидетельствует о необходимости автоматизации процессов оперативного управления производством и применения технических средств для организации потоков информации.

Глава III

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

В настоящей главе даны определения основных понятий, относящихся к системам вообще и к системам управления в частности. Главное внимание уделено системе управления общественным производством, рассмотрению ее иерархического построения, общих и специфических функций управления различными ступенями и звеньями. Показана взаимосвязь функций и организации управления. Рассматривается расчленение функций управления на процессы управления и задачи по управлению. Кратко излагаются принципы описания всей системы как совокупности взаимосвязанных задач по управлению. Освещаются сущность и основные проблемы автоматизации управления производством.

1. Общие понятия

Система * — это упорядоченная совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов.

Упорядоченность выражается в том, что место и функции каждого элемента определяются требованиями, предъявляемыми к системе в целом. Поскольку взаимосвязь и взаимодействие элементов определяют свойства образуемой ими системы, совокупность становится системой лишь тогда, когда отсутствие или нарушение места или функций одного из составляющих ее элементов оказывает влияние на какое-либо из свойств, характеризующих качественно совокупность в целом.

Если к совокупности из нескольких шаров, например, не предъявляется каких-либо требований, то никакой системы эта совокупность не составляет. Но набор шаров для игры в бильярд — уже система, так как нехватка одного из шаров или даже замена его шаром, не обла-

* От греческого *συστήμι* — составленное из частей, соединение.

дающим требуемыми качествами (форма, размер, твердость), делает весь комплект не пригодным для игры, и система перестает существовать. Стул — совокупность четырех ножек, сидения и спинки. Без любой из этих частей стула как такового нет. Стало быть — это система. Какое угодно количество одних только ножек, сидений и спинок не образует ни одного стула. Чтобы получить стул, нужно не только иметь все составляющие его части, но и вполне определенным образом их упорядочить и взаимосвязать.

Системы разделяются на статические, кинематические и динамические.

В статических системах главными, определяющими свойствами являются взаимосвязь и взаиморасположение частей, в кинематических — преобразование одних форм движения и статических состояний в другие; в динамических — взаимодействие частей, определяющее преобразование движения и статических состояний как системы в целом, так и ее частей. Под движением при этом понимается всякое изменение состояния (место, вес, скорость, давление, структура, температура и т. д.), под статическим состоянием — состояние, фиксированное в определенных точках времени. Переход системы из одного статического состояния в другое называется *переходным процессом*.

К статическим системам можно отнести уже упомянутый стул, любую деталь машины как строго упорядоченную в соответствии с чертежом и техническими условиями материю. В качестве примера кинематической системы можно взять шатунно-кривошипный механизм, преобразующий вращение вала в поступательное движение поршня (компрессор) или наоборот (двигатель). Этот же механизм представляет собой динамическую систему, если рассматриваются не только преобразование формы движения, но и силы, передаваемые механизмом и возникающие при преобразованиях движения его частей.

Примером статической системы в экономике может служить система показателей, характеризующих состояние производства; кинематической — система показателей, характеризующих взаимосвязь во времени статических показателей; динамической — система показателей требуемого состояния производства во взаимосвязи с обеспечивающими их мероприятиями.

Система управления — это совокупность методов и средств, определяющих и организующих динамические воздействия на управляемый объект, обеспечивающие переход последнего по избранной траектории из одного статического состояния в другое. Управление функционированием сложных динамических систем и является в кибернетике предметом изучения.

2. Системы управления

Система управления (рис. 12) представляет собой единство управляющего органа (УО) и объекта управления (ОУ). Тот и другой в свою очередь может быть системой, состоящей из множества элементов.

Система управления функционирует всегда в определенной среде, обладающей множеством свойств. Некоторые из свойств воздействуют на систему управления, другие находятся под ее воздействием. Так, рабочий вал паровой машины находится под воздействием поступающего в цилиндры пара и мощности, отбираемой механизмами, связанными с рабочим валом трансмиссией. Паровая машина со своей стороны воздействует на число оборотов трансмиссии, сохраняя его при обычных методах регулирования на одном и том же уровне, несмотря на отклонения в отборе мощности.

Некоторые воздействия внешней среды на систему управления и воздействия со стороны системы на внешнюю среду связаны между собой через систему управления. Следовательно, воздействие среды на систему по определенным законам преобразуется в системе в воздействие ее на среду. Процессы преобразования воздействий на систему в воздействия системы, а также вся совокупность этих воздействий и являются предметом рассмотрения в системах управления.

Значения воздействий внешней среды на систему управления, преобразуемых в системе в ее воздействия на среду, характеризуются вход-

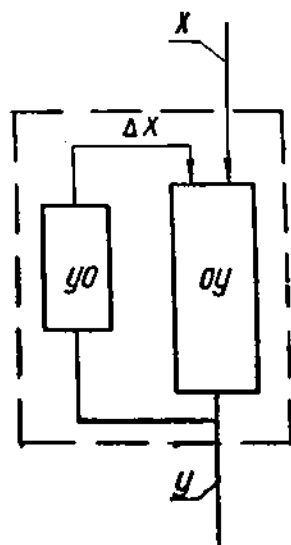


Рис. 12. Система управления

ными величинами, а воспринимающие их от внешней среды элементы называются *входами* системы управления. Значения воздействий системы управления на внешнюю среду, полученные в результате преобразования воздействий внешней среды на систему, характеризуются *выходными величинами*, а элементы, передающие их во внешнюю среду, называются *выходами* системы управления.

На рис. 12 входные величины обозначены x , выходные — y .

Преобразование входных величин в выходные может быть выражено формулой

$$y = Tx, \quad (17)$$

где x — входная величина (воздействие на объект управления, описываемое числом или вектором $x = x_1, x_2, \dots, x_n$); y — выходная величина (результат воздействия на объект управления, описываемый числом или вектором $y = y_1, y_2, \dots, y_m$); T — оператор преобразования входной величины x в выходную y .

Оператор — это правило преобразования входной величины в выходную*. Если система представляет собой безынерционный преобразователь (мгновенное преобразование x в y), то оператор приобретает смысл символа f (функция), и тогда $y = f(x)$, т. е. выходная величина y становится функцией входной величины x .

Если же в безынерционном преобразователе связь между входными и выходными величинами характеризуется линейной зависимостью, то оператор T приобретает значение коэффициента K , на который нужно умножить входную величину, чтобы получить выходную, т. е. $y = Kx$.

Системы, в которых происходят такие (пропорциональные) преобразования, называются усилителями (при $K > 1$) или ослабителями (при $K < 1$), а их оператор ($K = \frac{y}{x}$) пропускной способностью системы. Наиболее простым примером может служить обычный рычаг первого или второго рода: усилие, приложенное к одному плечу рычага, изменяется на втором обратно пропорционально отношению длины плеч.

* В формуле площади круга $S = \frac{\pi d^2}{4}$ оператором, или правилом преобразования входной величины d в выходную S ($S = Td$), является возведение в квадрат, умножение на π и деление на 4.

Воздействия, преобразуемые в системах управления, играют различную роль. Одни воздействуют на систему независимо от нее, другие зависят от первых, состояния системы и цели управления. В этом смысле все воздействия можно разделить на неуправляемые и управляемые. Последние предназначаются для преобразования всех входных величин в такие выходные величины, которые обеспечивали бы поведение системы управления в соответствии с возложенными на нее функциями.

Неуправляемые воздействия на систему изменчивы. В соответствии с ними должны изменяться и управляемые воздействия, превращаясь в управляющие относительно рассматриваемой системы управления. Отклонения неуправляемых воздействий от средней их величины получили название *возмущений*. Воздействия, которые обеспечивают требуемое поведение системы управления в условиях действия возмущений, называются *управляющими*.

Для пояснения рассмотрим систему отопления помещения. Предположим, что при средней внешней температуре 5°C требуемая в помещении температура 20°C поддерживается при повороте на три оборота вентиля, подающего горячую воду. Очевидно, что при постоянстве входных величин — внешней температуры, параметров теплоносителя (температура, давление и т. д.) и полезной теплоотдачи помещения — на вентиль можно поставить пломбу, ибо никакие управляющие воздействия не потребуются.

Однако внешняя температура меняется, параметры теплоносителя обычно неустойчивы, интенсивность использования помещения также непостоянна, что связано с изменениями полезной отдачи им тепла. Поэтому требуется управление. В данном примере управляющее воздействие осуществляется поворотом маховичка вентиля в зависимости от изменения в помещении температуры, которая полностью зависит от сочетания возмущающих и управляющих воздействий.

В рассматриваемой системе входные величины, характеризующие возмущения, выражаются наружной температурой, параметрами теплоносителя, полезной отдачей тепла помещением; управляющее воздействие — углом поворота маховичка вентиля. Входы — стенки помещения, через которые совершается теплообмен с

внешней средой; субъекты или объекты, выносящие или вносящие тепло; впускной клапан системы отопления. Выходные величины — температура внутри помещения; выходы — контакты среды помещения с субъектами или объектами, которые находятся в помещении и нуждаются в определенной температуре.

Предположим, что наружная температура снизилась до -10°C . Тогда для сохранения внутренней температуры на прежнем уровне (20°C) требуется увеличение подачи тепла в помещение, т. е. открытие клапана, скажем, еще на один оборот. Этот оборот и является входной управляющей, а полученный результат (температура в помещении) — выходной величиной. В зависимости от соответствия входной величины требуемой определяется ее дальнейшее изменение. Движение к намеченной цели, таким образом, представляет собой цепь последовательных преобразований входных величин в выходные и соответствующие этому преобразования одного состояния системы в другое.

Входные величины преобразовываются в выходные внутри системы управления. Входы возмущающих воздействий могут быть расположены и в управляющем органе и в объекте управления, входы внешних управляющих воздействий — только в управляющем органе, выходы воздействий на внешнюю среду — только в объекте управления.

Внутреннее взаимодействие в системе управления выражается в том, что управляющий орган оказывает управляющее воздействие на объект управления, а объект управления — на управляющий орган. Управляющее воздействие преобразовывает состояние объекта управления из исходного в требуемое.

Исходное состояние — это реальная действительность, это объект управления как он есть; требуемое — это то состояние объекта управления, которое определяет необходимое его воздействие на внешнюю среду. Следовательно, объект управления сам оказывает как бы управляющее воздействие на управляющий орган, вызывая управляющее воздействие с его стороны в зависимости от состояния объекта управления.

Вращение вала паровой машины, например, жестко связано с вращением грузов регулятора, передвигающих через систему тяг и рычагов заслонку, впускающую пар в

цилиндры машины. Поэтому положение заслонки полностью зависит от числа оборотов рабочего вала, т. е. скорость вращения вала (выходная величина) управляет положением заслонки (входная величина). Изменяя подачу пара в цилиндры, заслонка в свою очередь влияет на скорость вращения рабочего вала.

В соответствии с этим оператор преобразования T в формуле (17) состоит из S — оператора преобразования x в y для объекта управления и R — оператора преобразования y в Δx для управляющего органа (Δx — дополнительное к x управляющее воздействие на объект управления, если y не достигает заданной величины).

Тогда входная величина объекта управления составит $x_1 = x + \Delta x$; выходная $-y = S(x + \Delta x)$, но так как $\Delta x = Ry$, то $y = S(x + Ry)$, откуда

$$y = \frac{S}{1 - SR} x. \quad (18)$$

Формула (18) названа основной формулой теории регулирования (27, стр. 31). Она позволяет при данных значениях S и R , требуемом значении выходной величины $y = z$ определить входную величину $x = \frac{1 - SR}{S} z$.

Таким образом, управляющий орган и объект управления имеют входы и выходы, связывающие их в единую систему управления. Входные величины преобразуются в выходные в обеих частях системы управления по вполне определенным правилам, отражающим объективно действующие законы. Тем не менее различия в преобразованиях есть. В управляющем органе в выходные величины преобразуются входные величины, относящиеся к информационным, а в объекте управления — к материальным процессам. Входы управляющего органа воспринимают от объекта управления лишь информацию о его состоянии и взаимодействии с внешней средой. На выходах управляющего органа вырабатываются лишь сигналы управления, преобразуемые во входные величины на входах объекта управления. Входные и выходные величины объекта управления образуются материальными потоками и характеризуют их.

Различие между управляющим органом и объектом управления состоит еще в том, что первый из внешней

среды получает в виде управляющих воздействий информацию о требованиях к функционированию системы, второй выполняет эти требования.

Входной величиной регулятора паровой машины является информация о скорости вращения рабочего вала, выходной — положение заслонки. Положение заслонки, впускающей пар в цилиндры машины, — сигнал управления, изменяющий поступление пара (входная величина для объекта управления) в зависимости от скорости вращения вала (выходная величина для объекта управления).

Таким образом, в регуляторе главной оказывается информационная, а в машине — материальная связь: в цилиндры поступает столько пара (входная величина управления), сколько его требуется для вращения рабочего вала с постоянной скоростью (выходная величина управления) при изменяющихся нагрузках (возмущающая входная величина).

Кроме того, регулятору извне задается и та постоянная величина, вокруг которой может колебаться число оборотов рабочего вала. На рабочем валу это требование реализуется. Формирование управляющего воздействия требует, таким образом, информации об исходном состоянии объекта управления, о требуемом его состоянии, возмущениях и преобразованиях состояния объекта при тех или иных воздействиях на него.

Описание последовательности и операций поступления, передачи и переработки информации, определяющей получение информации о характере и величине управляющего воздействия, называется *алгоритмом управления*.

Поведение управляемого объекта, таким образом, определяется управлением. Следовательно, качество управления тем выше, чем лучше поведение объекта. Понятие «лучше» зависит от конкретных условий и задач, решаемых в процессе управления. В одних условиях при управлении автомобилем, например, требуется кратчайшее время переезда из одного пункта в другой, в других — минимальный расход горючего при проезде между теми же пунктами. Известно, что наименьший расход горючего на единицу расстояния достигается при определенной скорости движения. Следовательно, одновременная постановка целей «кратчайшее время» и «мини-

мальный расход» лишена смысла: либо одно, либо другое.

Оба эти требования могут совместиться лишь при сведении их через систему оценок к единому показателю, позволяющему однозначно определить цель управления. Величина, однозначно определяющая качество управления, именуется *критерием эффективности* управления. Под *оптимальным* управлением подразумевается совокупность управляющих воздействий, обеспечивающая при имеющихся ограничениях наибольшее (наименьшее) значение критерия эффективности.

Требования к функционированию систем управления могут касаться поведения не только объекта управления, но и управляющего органа. Такие системы относятся к особому классу *адаптирующихся* систем. Системы, управляющий орган которых приспособлен к уточнению в процессе функционирования количественных данных, используемых в алгоритмах управления, относятся к *самонастраивающимся*. Системы, управляющий орган которых приспособлен к уточнению в процессе функционирования алгоритма управления, относятся к *самоорганизующимся*.

3. Общественное производство как система управления

Человеческое общество представляет собой сложнейшую динамическую систему с огромным числом входов и выходов, определяющих ее взаимодействие с внешним миром (природой). Носителем входов и выходов является каждый член общества.

Ни одно воздействие природы на общество и общества на природу не может миновать отдельного человека, хотя в целом речь идет о взаимодействии между природой и обществом. Каждый человек, воздействуя на природу посредством средств производства, выполняет функции, определившиеся его положением в обществе. Таким образом, человек находится во взаимодействии и со средствами производства и с обществом. Сложность взаимосвязи явлений в природе, взаимодействия между природой и обществом, взаимоотношений между людьми внутри общества и определяет необходимость формирования все растущего комплекса различных непрерывно развивающихся, взаимосвязанных между собой наук.

Области знания

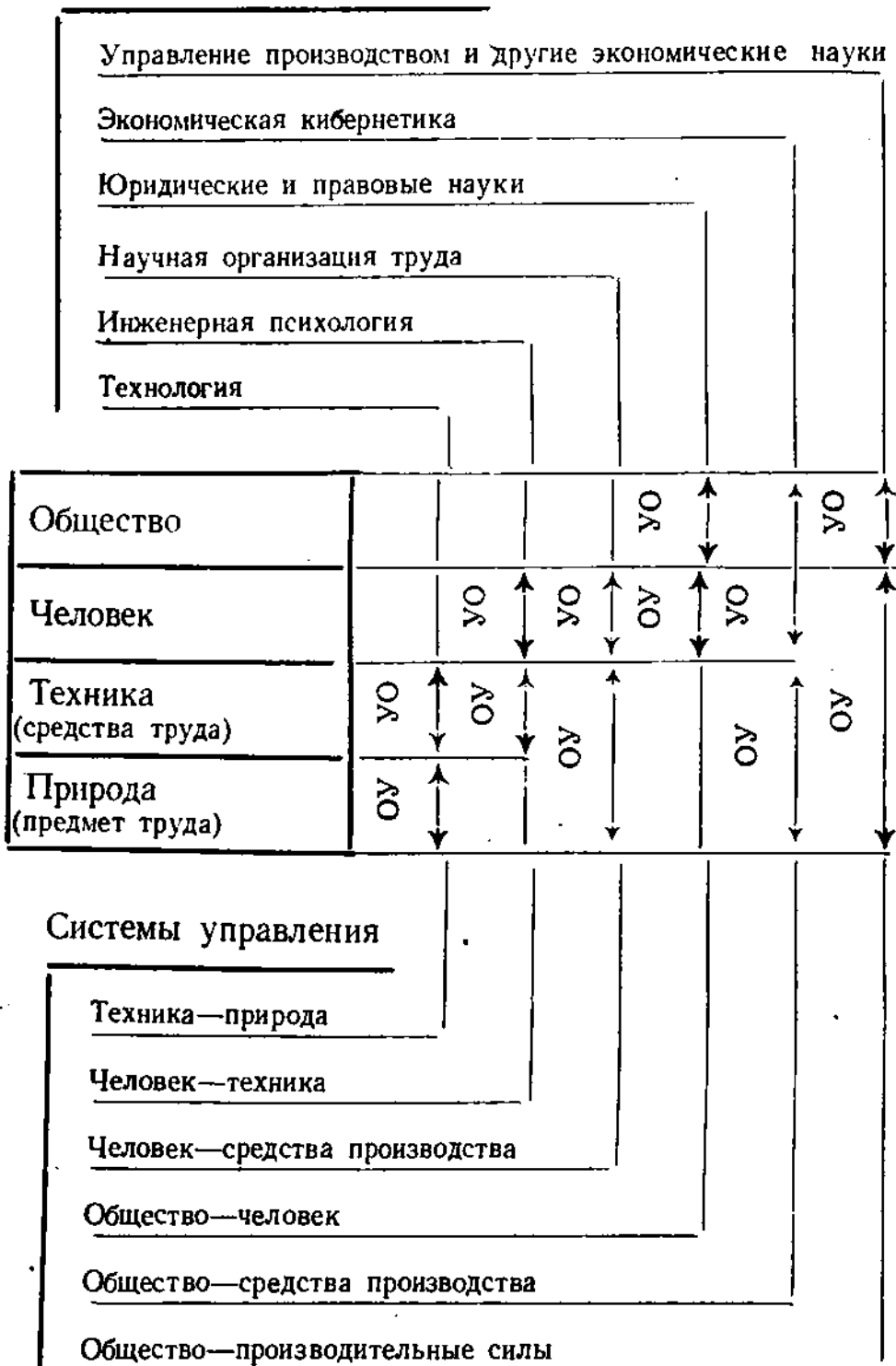


Рис. 13. Схема связи наук с системами управления в обществе

На рис. 13 мир представлен схематично, в виде четырех частей, комбинации которых образуют системы управления, изучаемые различными науками. На схеме показано только шесть возможных комбинаций, позволяющих видеть место экономической кибернетики в системе примыкающих к ней наук. На долю экономической кибернетики, как видно из схемы, приходится изучение системы общество — средства производства, т. е. процессов управления обществом всей совокупностью средств производства.

Слияние всей массы средств производства, функционирующих в обществе, в единую систему наиболее эффективного использования живой и неживой природы в интересах общества и управление этой системой составляют предмет рассмотрения и задачу экономической кибернетики. Система управления при этом представляет собой упорядоченную совокупность методов и средств сбора, хранения, передачи, переработки и выдачи информации, обеспечивающих оптимизацию производственно-хозяйственной деятельности.

Участие человека в системе управления двоякое: он является носителем и активным преобразователем информации, во-первых, и пользователем системы, во-вторых. Тем не менее при таком определении системы управления человек из нее выпадает.

Дело в том, что специфика организации и функционирования информационных процессов в человеческом мозгу представляет большой интерес для бионики, физиологии, медицины и других наук. Для экономической же кибернетики эти процессы важны лишь с точки зрения их связи с управлением производством и применением для этого технических средств.

Проблема человека как пользователя системы — это прежде всего вопросы присвоения результатов использования системы, затрат физической и интеллектуальной энергии человека в процессе ее применения. Они рассматриваются многими экономическими науками (включая политическую экономию), инженерной психологией и при научной организации труда.

Поэтому в экономико-кибернетическом определении системы управления производством человек отсутствует. Место его с этой точки зрения не в системе, а над системой, ибо в его интересах создается и функционирует все

общественное производство. Человек рассматривается как использующий систему управления, а не как используемый для управления.

На рис. 14 изображена схема взаимодействия человека с природой через систему управления производст-

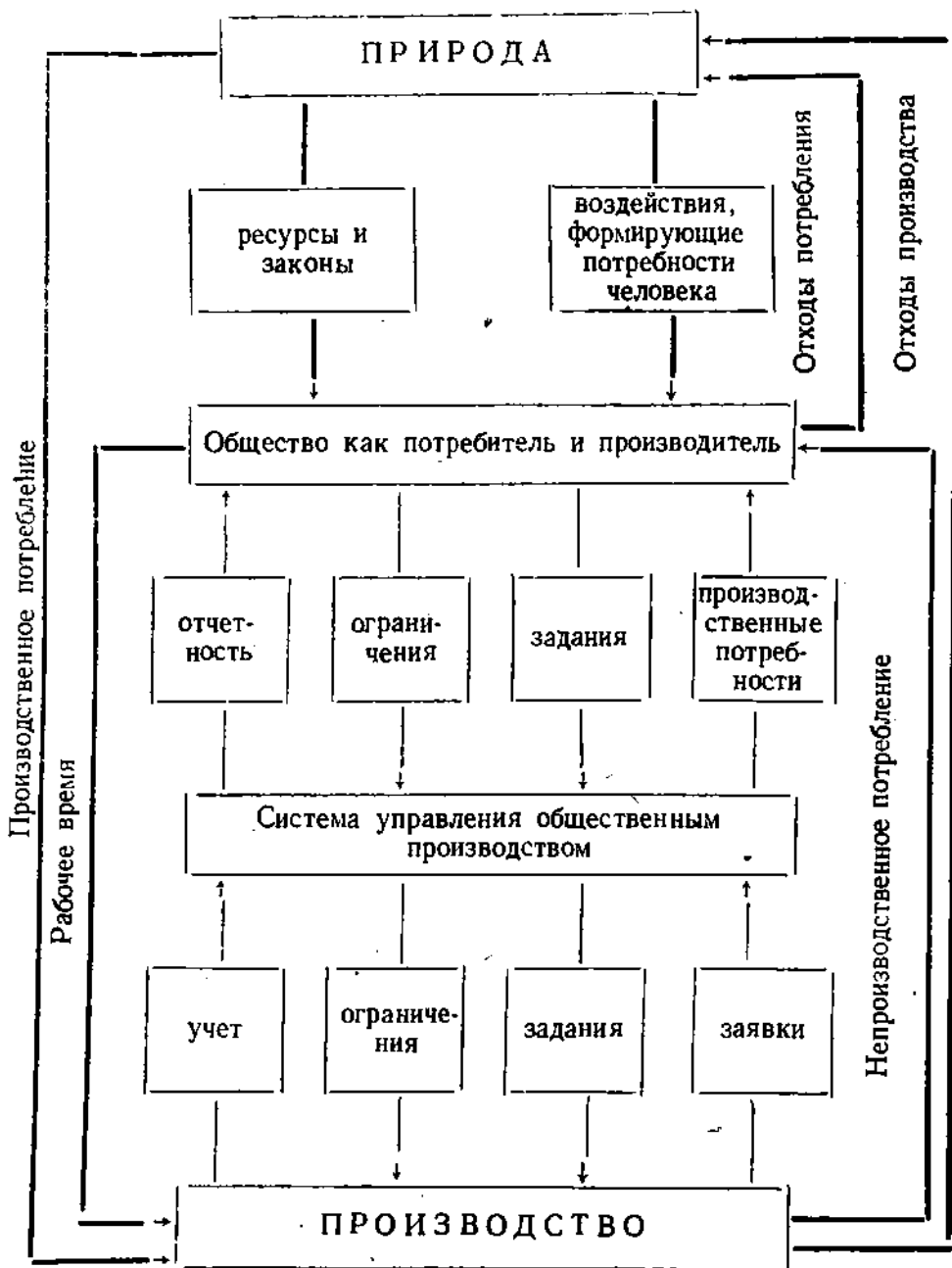


Рис. 14. Система «Человек—природа»

вом. Это взаимодействие выражается в том, что под воздействием окружающего мира у человека формируются определенные потребности, с удовлетворением которых связано его существование. Они могут быть удовлетворены только в результате труда. При известном уровне развития общества труд носит непосредственно общественный характер, что означает планомерное, сознательное соединение всех отдельных трудовых процессов в единый процесс общественного производства.

Испытывая под воздействием внешнего мира потребности, располагая ресурсами и результатами объективного действия законов природы, общество организует производство, воздействует на природу, видоизменяет ее в соответствии со своими потребностями, оказывая вполне определенное (в конечном счете — решающее) воздействие и на формирование самих потребностей. Таким образом, природа и производство воздействуют на общество как на потребителя, общество через производство воздействует на природу как производитель.

На схеме толстыми линиями изображены материальные потоки, тонкими — информационные. Если в понятие «общество» включить все производство, вплоть до рабочих мест, то между обществом и природой никаких информационных потоков, отделившихся от материальных, нет. Между ними функционируют только материальные потоки.

Природа воздействует на человеческое общество непосредственно материально, без всяких информационных процессов, функционирующих отдельно от материальных. Воздействие человека на природу опосредуется трудовой деятельностью; которая реализуется обществом как производителем через совокупность рабочих мест, где используются законы природы и вовлекаются в материальный поток ее ресурсы.

Таким образом, трудовая деятельность на стыке общества и природы также представляет собой материальную связь между ними. После завершения трудовых процессов материальные потоки продуктов непродовственного назначения движутся в направлении, противоположном движению природных ресурсов, удовлетворяя и развивая непродовственные потребности общества. Кроме названных материальных потоков, на схеме показаны еще материальные потоки, возвращаемых природе

отходов производственного и непроизводственного потребления.

При материальном взаимодействии у человека накапливается информация об окружающем мире несравненно большая, чем у остальной природы. Неживая природа из взаимодействия с человеком никакой информации не извлекает. Поэтому человек во взаимодействии с природой занимает в конечном счете господствующее положение. В системе «общество — природа» в роли управляющего органа выступает общество, а в роли объекта управления — природа. Воздействия природы на общество относительно постоянны во времени, а сила воздействия общества на природу стремительно растет. Преобразовывая природу, человек тем самым видоизменяет и ее воздействие на общество.

Общество воздействует на природу через производство. Производство — это не просто совокупность рабочих мест, а система, в которой взаимодействуют многочисленные трудовые процессы (начиная от уборки помещений и кончая научными исследованиями) и многие средства производства (от метлы до электронных вычислительных машин).

Общество и производство как совокупность рабочих мест соединяет огромная многоступенчатая система управления общественным производством со сложнейшим иерархическим построением. В этой системе сверху донизу (вплоть до рабочих мест, где осуществляются материальные процессы воздействия человека на природу) функционируют только информационные процессы. Материальные процессы здесь относятся лишь к носителям информации, потребительная стоимость которых определяется их способностью воспринимать, хранить и передавать информацию.

Общество получает информацию от внешнего мира вместе с материальным потоком воздействий на него и обратно (во внешний мир) никакой информации не передает. Оно от природы ничего не просит, ни о чем ее не предупреждает, ни в чем не отчитывается, беря все необходимое путем целеустремленного использования объективных законов природы.

Потоки информации зарождаются в звене «общество как потребитель и производитель», отделяясь от материальных потоков. Общество как потребитель материаль-

ных и духовных благ непроизводственного назначения ставит задачу перед обществом как производителем этих благ. Управляющая производством информация движется вниз через множество ступеней иерархии управления, достигая рабочих мест, где переходит в область управления технологическими процессами.

На рабочих местах в свою очередь возникают и движутся вверх потоки учетной и аналитической информации, формирующей и оттачивающей в конечном счете информацию о потребностях общества и все правила научного управления общественным производством. Рассмотрение этих информационных процессов и относится к области экономической кибернетики.

Взаимоотношения между людьми по поводу производства и присвоения продуктов, стимулирование, право и т. д. изучаются общественными науками. Материальные потоки (как управляемые обществом, так и воздействующие на него) составляют содержание естественных и технических наук.

Технические науки достигли высокого уровня без кибернетики. Она же сформировалась, когда стали выделяться и получили самостоятельное развитие различные функции управления и появилась необходимость их оптимизации. Точно так же в общественном производстве возникает и развивается экономическая кибернетика, когда функции управления производством начинают нуждаться в научных обоснованиях, а их оптимизация становится возможной лишь на основе применения средств автоматизации, создать которые позволяет высокий уровень развития техники.

Проблемы автоматизации управления производством значительно сложнее построения технических автоматических систем. Эта сложность определяется особенностями системы общественного производства:

а) производство как объект управления по своим размерам не может идти ни в какие сравнения с любым управляемым объектом в технической системе;

б) в управлении производством выполняется различных функций значительно больше, чем в самой сложной технической системе;

в) размеры системы управления и количество выполняемых в ней функций определяют и огромные потоки информации в системе общественного производства;

г) при решении вопросов автоматизации управления необходимо выделять из системы общественного производства локальные участки, что обуславливает рассмотрение массы внешних связей этих участков со всей системой производства;

д) управление объектом в системе производства сочетается с одновременным управлением развитием самого объекта, чего нет ни в одной технической системе;

е) в основе построения систем автоматизированного управления производством лежат нормы, меняющиеся по мере развития техники производства, в то время как технические системы строятся на основе «железных» законов природы и техники;

ж) преобразование одних и тех же входных величин в выходные при одном и том же состоянии системы не всегда однозначно, а с различной вероятностью возможны и различные результаты.

В этом отношении управление производством представляет собой вероятностную систему, функционирующую в условиях неопределенности, требующей разнообразия управляющих воздействий. В технических системах вероятностные связи занимают значительно меньше места. Системы, в которых выходная величина является однозначной функцией входной величины и состояния системы, называются детерминированными.

Критерием эффективности функционирования системы общественного производства является максимум потребительной стоимости при ограниченных ресурсах. Этот критерий в свою очередь усложняет управление системой общественного производства, поскольку вопросы измерения потребительной стоимости еще не полностью решены нашей экономической наукой.

Известно, что масса потребительной стоимости зависит от качества и количества потребительских продуктов, а качество и количество в системе общественного производства управляемы. Однако качество продукции как объект управления рассматривается сейчас только в технологических процессах, в системах же управления производством учитывается лишь как ограничение, продиктованное различными ГОСТами, техническими требованиями, чертежами и т. д., а функция цели управления производством сводится к максимизации объема производства продукции заданного качества при ограниче-

нии затрат общественного труда на ее производство. Таким образом, управление качеством выпадает из поля зрения управления производством.

Качество — это категория вечная. Она возникла вместе с материей и вместе с нею постоянно развивается. Первоначально она стала предметом изучения философских наук, рассматривавших качество как совокупность свойств, определяющих вещь. По мере проникновения знаний в область взаимодействия вещей понятие «качество» стало распространяться на способности вещей выполнять те или иные функции и мера этих способностей стала мерой качества вещей. На первый план выдвинулись не состав и структура, а полностью зависящие от них «способности» вещи.

В процессе развития производства все большую роль в жизни человека играют продукты труда, представляющие собой целесообразно упорядоченную человеческой деятельностью материю. Отличие продуктов от прочих вещей заключается в том, что общей и единственной функцией их является удовлетворение человеческих потребностей, а способность выполнять ее оказывается в конечном счете продуктом человеческого труда.

Следовательно, качество определяется уже не только свойствами продукта, благодаря которым продукт удовлетворяет те или иные потребности людей, но и затратами человеческого труда, необходимыми для производства продукта, обладающего такими свойствами. Таким образом, проблема качества из области философской как бы переместилась сначала в область физики и механики, а затем — в область экономики.

Этим объясняется непрерывно растущий интерес экономистов к проблеме качества. Однако выполненные ими исследования пока не исчерпали актуальности данной проблемы. Более того, требования жизни растут, пожалуй, быстрее достижений экономической науки в этой области.

Понятие «качество» имеет определенное иерархическое построение: качество как потребительная стоимость вообще; качество различных конкретных изделий с точки зрения удовлетворения ими конкретных, определенных, одних и тех же потребностей; качество одинаковых изделий и составляющих их частей; качество технологических процессов и, наконец, процесса труда.

Качество процесса труда — основа, на которой покоится все иерархическое построение качества продукции. Качество продукции — единственно возможная мера качества труда. Но между процессом выявления качества продукции при ее потреблении и затратами труда на ее производство большая дистанция как во времени, так и пространстве.

Каждый продукт в отдельности и вся продукция в целом представляют собой определенным образом упорядоченную материю. А процесс упорядочения — это ее последовательные превращения в процессе труда из одного состояния в другое. Исходным состоянием являются порожденная жизнью идея и вещество природы, конечным — продукт и результаты его потребления. Между этими крайними состояниями имеется множество переходных, из которых в крупном плане в машиностроении, например, можно выделить следующие: разработка эксплуатационных требований к машине, проектирование машины, проектирование технологии, материальная и организационная подготовка и обеспечение производства, производство заготовок деталей машины, механическая и термическая обработка деталей машины, сборка машины, передача ее потребителю, эксплуатация и формирование новых эксплуатационных требований.

Все эти и многие другие состояния внутри названных представляют собой не что иное, как вехи, позволяющие направлять весь процесс труда к намеченной цели. Они характеризуют процесс упорядочения материи и траекторию ее движения в этом процессе. Как по отклонению фактической траектории полета ракеты от расчетной заранее известно, попадет ли она в цель, так и по фактической траектории движения качества материи можно определить, будут ли получены необходимые конечные результаты и каково качество труда.

Поскольку движение качества материи управляемо, то расчетная траектория является не только средством контроля и прогноза, но и необходимым условием регулирования переходного процесса материи из исходного состояния в конечное.

Эти функции управления качеством входят в состав функций системы управления общественным производством и не должны сбрасываться со счета как при планировании, так и практическом осуществлении плана.

4. Иерархия систем

Система управления производством состоит из множества подсистем, которые в свою очередь делятся на части. При этом любая подсистема может рассматриваться как система, а составляющие ее части как подсистемы и, наоборот, каждая система становится подсистемой, если она рассматривается как часть, составляющая более высокий комплекс. Поэтому для описания систем недостаточно деления на подсистемы, требуется более детальное деление на части, составляющие огромную иерархическую лестницу управления общественным производством.

В системе управления общественным производством иерархия построения наблюдается как во времени, так и пространстве.

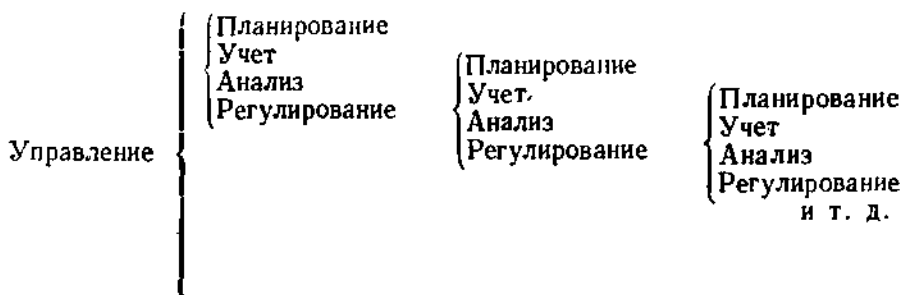
Во времени иерархичность характеризуется шагом управления, т. е. тем периодом времени, на который определяется цель управления, пути и средства ее достижения; *в пространстве* — масштабами рассматриваемого участка общественного производства, для которого определяются цель управления, пути и средства ее достижения.

Пути и средства достижения цели при этом рассматриваются не с точки зрения технологической (технология является исходной предпосылкой, а не предметом рассмотрения), а с точки зрения координации во времени и пространстве различных производственных процессов. Стало быть, важнейшим вопросом определения путей и средств достижения цели является установление точек или интервалов времени и мест, а также методов анализа и регулирования хода производства.

Цель управления формулируется в виде плановых заданий по производству работ и ограничений по ресурсам. Вместе с тем планирование заданий и ограничений без учета и анализа состояния объекта, законов его поведения и правил управления представляет собой волюнтаризм, не имеет ничего общего с научным управлением. Учет и анализ этих моментов позволяют вырабатывать управляющие воздействия, наилучшие с точки зрения цели управления, а также совершенно необходимые для регулирования, реализующего и постоянно конкретизирующего задания в условиях неопределенности поведе-

ния системы. Учет и анализ для регулирования часто называются контролем хода производства. Таким образом, *планирование, учет, анализ и регулирование* в единстве образуют *процесс управления производством*. Без любого из звеньев этой цепи управление немислимо.

Регулирование — это тот же информационный комплекс, что и управление, но на более низкой ступени. Схематично эту связь можно изобразить в следующем виде:



Из схемы видно, что регулирование — это то же управление, но осуществляемое при наличии установленных сверху плановых заданий, ограничений, параметров и методов регулирования. Таким образом, регулирование представляет собой уточнение внутри планового отрезка времени заданий, ограничений, параметров и методов регулирования на основе учета и анализа результатов производства за истекшую часть времени с целью полного выполнения объемного планового задания.

К параметрам регулирования относятся:

1) моменты времени внутри планового периода, в которые осуществляются учет и анализ хода производства (шаг регулирования);

2) производственные точки внутри системы управления, в которых осуществляются учет и анализ хода производства;

3) уставки, определяющие меру отклонения фактического хода производства от установленного планом, при котором требуется регулирование.

Методы регулирования — это комплекс правил, определяющих характер управляющих воздействий (изменение заданий, ограничений, параметров регулирования и т. д.) при тех или иных отклонениях фактического хода производства от запланированного. Если при образовавшихся отклонениях методы регулирования не обеспечи-

вают выполнения объемного задания, информация о состоянии дел передается на более высокую ступень.* Задания, скорректированные в результате регулирования, становятся объемными плановыми заданиями на более низкой временной ступени управления.

Плановые задания устанавливаются объемной величиной на определенный отрезок времени и для определенного участка общественного производства с выделением в этом отрезке точек времени и мест, в которых нужно вести учет, анализ и регулирование хода производства.

Место и период времени между двумя ближайшими точками контроля при этом становятся сами теми участками общественного производства и теми отрезками времени, на которые устанавливаются задания по объему производства и в которых, в свою очередь, выделяются точки времени и места учета, анализа и регулирования хода производства.

Так, грандиозные задачи построения материально-технической базы коммунистического общества конкретизируются в пятилетних планах с детальной разбивкой по отраслям и предприятиям. Пятилетние планы рассчитываются по годам, годовые — по кварталам, квартальные — по месяцам. Все более конкретизируясь, задания доходят до рабочего места.

Но и в течение смены рабочий подчас подсознательно поглядывает на часы, по выполненной работе (учет) сравнивает результат с заданием (анализ) и определяет темп (план) своей работы на оставшийся отрезок смены. Все вместе это составляет процесс регулирования хода производства, преследующий цель выполнения задания (плана), установленного на смену.

Плановые задания на любом уровне системы управления являются более или менее точными прогнозами тех событий, которые должны произойти в планируемом отрезке времени. Если события развиваются в точном соответствии с планом и новые задачи не возникают, то не требуется принимать какие-либо решения на регулирование.

Однако реальные события обычно не совпадают с планом, могут опережать или отставать от него. Кроме того, все ожидаемые в плане события учитываются средними величинами (выработка, время работы и ремонта

оборудования, выходы на работу и т. д.). Реальные же события даже при точном совпадении с планируемыми в среднем за предусмотренный планом отрезок времени не совпадают в отдельных точках времени. Так, фонд времени производительной работы оборудования планируется известным процентом к календарному (скажем 80%). На самом же деле в каждой точке времени станок будет загружен полностью (на 100%) или не будет работать совершенно.

Поэтому принятие решений о необходимости вмешательства в реальный ход производства требует четкого представления о величине отклонений, при которой необходимо вмешательство. Величина же эта не может быть постоянной, поскольку она зависит от состояния очень многих и не всегда одних и тех же производственных факторов.

Итак, система управления производством на конкретном производственном участке — это комплекс методов и средств планирования, учета, анализа и регулирования во времени и пространстве выполнения производственных процессов, направленных на достижение цели более высокого звена иерархической лестницы управления.

Нижняя ступень иерархической лестницы управления производством — рабочее место. На рабочем месте управление производством переходит в управление технологическими процессами. Верхняя ступень — народное хозяйство стран социалистического лагеря (с некоторыми условиями — это СЭВ). Более конкретно она определяется названием системы: отраслевая, заводская, цеховая и т. д. Если, например, речь идет о системе управления предприятием, то предприятие рассматривается как верхняя ступень (правда, со связями с вышестоящей ступенью — отраслью), а нижней остается рабочее место.

5. Классификация систем и функций управления

Системы управления производством могут классифицироваться по многим признакам.

1. Иерархия в пространстве: народное хозяйство (при обобществлении средств производства), отрасль, производственное объединение, предприятие, корпус, цех, отделение, участок.

2. Иерархия временная — шаг управления: пятилетка, год, квартал, месяц, декада, сутки, смена, час, реальный масштаб времени.

Реальный масштаб времени означает, что учет и анализ хода производства осуществляются в штате, исключая необходимость регулирования при каждом шаге. Шаг управления, т. е. расстояние между двумя точками: времени учета, анализа и регулирования, устанавливается с таким расчетом, чтобы регулирование было своевременным и обеспечивало выполнение объемных заданий. При реальном масштабе времени учет и анализ осуществляются значительно чаще, чем может возникнуть потребность в регулировании, но этим обеспечивается немедленное регулирование, как только в нем появляется необходимость.

3. Стадии управления — планирование, учет, анализ, регулирование.

Планирование и регулирование связывают между собой различные ступени управления в единую иерархическую лестницу. Планирование на данной ступени есть регулирование для вышестоящей, регулирование на данной ступени есть планирование для нижестоящей.

4. Функции управления.

Функция как математическое понятие — это выражение зависимости между переменными величинами. Функция как физиологическое понятие (от латинского *functio* — выполнение) — это проявление жизнедеятельности органов, тканей, клеток животного или растения, осуществляемое в процессе постоянного и непрерывного взаимодействия организма с внешней средой.

Функция управления еще не получила определения в энциклопедических словарях, но в управлении производством можно встретить и математическое и близкое к физиологическому определение этого понятия:

Многочисленные связи между зависимыми в производстве величинами (например, себестоимость продукции как сумма затрат на производство) получили название производственных функций*. Зависимость уровня

* Производственная функция Кобба—Дугласа $H = T^\alpha P^{1-\alpha}$, где H — национальный доход страны, T — затраты трудовых ресурсов, P — производственные фонды, α — степень влияния трудовых ресурсов на национальный доход ($0 < \alpha < 1$).

удовлетворения потребностей общества от объема и структуры потребительского продукта получила название функции потребления.

В физиологическом смысле функция управления — это «совокупность информационных процессов по управлению объектом для достижения некоторой частной цели управления» (26, стр. 111), т. е. — это любое действие в любом звене управления, связанное с процессом управления. Функции управления осуществляются в процессе постоянного и непрерывного взаимодействия системы производства с внешней средой (природой и обществом).

При классификации систем управления по функциям функции рассматриваются не как математические понятия, а как составные части информационных процессов.

Классификация функций в основном определяет и классификацию систем. Функции — это действия, связанные с управлением, система управления — совокупность всех средств (методы, технические устройства, справочная информация), обеспечивающих осуществление этих функций. Поэтому функции управления могут классифицироваться по признакам классификации систем, т. е. как функции народнохозяйственного, отраслевого, фирменного, заводского, цехового управления (по иерархии систем в пространстве); перспективного, объемного, календарного планирования (по временной иерархии); планирования, учета, анализа, регулирования (по стадиям управления).

Однако такая классификация функций не вносит ничего нового в классификацию систем, полностью с ней совпадает и свидетельствует о том, что в той или иной системе управления выполняются функции, соответствующие названию системы. Классификация функций уточняет определение систем при разложении на составляющие таких функций, как планирование, учет, анализ и регулирование, применительно к конкретным участкам общественного производства.

На машиностроительном предприятии, например, можно выделить следующие основные функции управления производством.

А. Техничко-экономическое планирование: производственной программы; использования оборудования; материально-технического снабжения; труда и заработной платы; себестоимости продукции; финансов и сбыта.

Б. Оперативное планирование основного и вспомогательного производств, материально-технического снабжения, реализации продукции.

В. Подготовка производства новых изделий: конструкторская, технологическая, материальная, организационная.

Г. Учет и анализ выполнения производственного плана по участкам, цехам и заводу; простоев оборудования; движения материалов; потерь от брака; расхода технологической оснастки; движения рабочей силы, включая табельный учет; расхода заработной платы, включая начисление работникам; отклонений по прямым затратам на производство; движения денежных средств, включая реализацию продукции.

В этом примерном перечне такие функции, как планирование, учет, анализ и регулирование, не только конкретизируются, но и накладываются одна на другую. В частности, если оперативное планирование является регулированием по отношению к заданиям технико-экономического плана, то подготовка производства включает в себя и объемное планирование, и учет, и анализ, и регулирование хода подготовки производства. Поэтому функции подготовки производства — это функции управления не только основными производственными процессами. Они изменяют среду, в которой протекает производственный процесс; предприятие как комплекс средств производства оказывается предметом труда, преобразуемым с целью более полного соответствия его требованиям производства.

Поскольку функции управления производством и функции управления его развитием совпадают во времени и пространстве, постольку проявляется и такой комплекс функций, как подготовка производства.

Б. Типы производства: поточное, регулярно и нерегулярно повторяемое, неповторяемое, смешанное. Такая характеристика типов производства, принятая в методических материалах «Единая организационная система в машиностроении»^{*}, более четко подчеркивает особенности производства, чем применяемое сейчас деление его на массовое, серийное или индивидуальное.

* Разработана в 1965 г. исследовательским институтом машиностроительной технологии и экономики в Праге.

6. Автоматизация управления производством. Здесь возможна классификация систем по уровню автоматизации, применяемым техническим средствам (ввод, вывод, передача, переработка информации), типам алгоритмов управления (жесткие, изменяемые, самоизменяющиеся), надежности, эффективности и другим признакам.

По уровню автоматизации информационных процессов системы управления можно разделить на пять степеней.

Первая степень — ныне распространенная система управления, основанная на ведении большого количества бумажных документов с передачей их без привлечения технических средств и с частичной механизированной переработкой (не для оперативных целей) на машино-счетных станциях.

Вторая степень отличается от первой автоматизацией сбора информации о ходе производства и концентрацией ее на диспетчерских пультах или в табуляграммах с последующей оценкой руководителями состояния производства с целью принятия мер по регулированию.

Третья степень дополняет вторую автоматизацией анализа, что позволяет выдавать руководителям (через пульта или табуляграммы) информацию о ходе производства только по позициям, на которых возникла угроза невыполнения плановых заданий, требующая вмешательства в ход производства и принятия мер к вводу его в заданный ритм.

Четвертая степень характеризуется привлечением технических средств не только для отбора и выдачи информации об опасных отклонениях, но и для выработки решений по регулированию производства. На этом уровне автоматизации система технических средств управления постоянно обогащается новыми возможностями самостоятельного решения вопросов регулирования производства, все больше освобождая от этого человека.

Пятая степень позволяет автоматически выработанные сигналы регулирования передавать непосредственно исполнительным органам, минуя человека. На этом уровне система автоматизированного управления превращается в систему автоматического производства, действующую без непосредственного участия людей.

В этой примерной классификации системы характеризуются многими признаками, что усложняет их изучение

и описание. Нельзя ли во всем этом разнообразии найти общие для различных звеньев управления черты? Если такие черты есть, то на основе изучения одних звеньев можно понять и другие, расположенные рядом, выше или ниже. В этом случае может оказаться достаточным изучение одного из звеньев, обладающих комплексом свойств, присущих в той или иной мере всем звеньям системы. Такое звено называется элементарным звеном управления производством (10, стр. 80—97).

6. Элементарное звено

Известно, что для получения суммы членов геометрической прогрессии нет надобности расписывать весь ряд и сначала вычислять, а затем складывать все слагаемые. Достаточно знать одно из чисел ряда, закон изменения чисел, количество чисел ряда по обе стороны известного числа и формулу определения суммы. Для убывающей геометрической прогрессии сумму членов можно точно определить даже при бесконечно большом числе членов, хотя перепись всех членов такого ряда практически невозможна.

Нельзя ли подобным же образом описать всю систему управления общественным производством? Ведь все ступени иерархической лестницы управления имеют много общего: каждая из них делится во времени на более мелкие отрезки; в пространстве каждый участок производства входит в более крупное подразделение и одновременно состоит из ряда более мелких звеньев; во всех ступенях управления протекают одни и те же процессы переработки информации: планирование, учет, анализ, регулирование.

Общность всех звеньев во взаиморасположении и процессах управления позволяет изобразить так называемое элементарное звено управления (рис. 15).

Элементарное звено — такая система управления, которая, будучи выделена из любой системы, при дальнейшем ее членении перестает выполнять какую-либо из стадий управления (планирование, учет, анализ, регулирование).

Схема, изображенная на рис. 15, позволяет сделать ряд выводов.

1. Любое произвольно взятое звено S иерархической

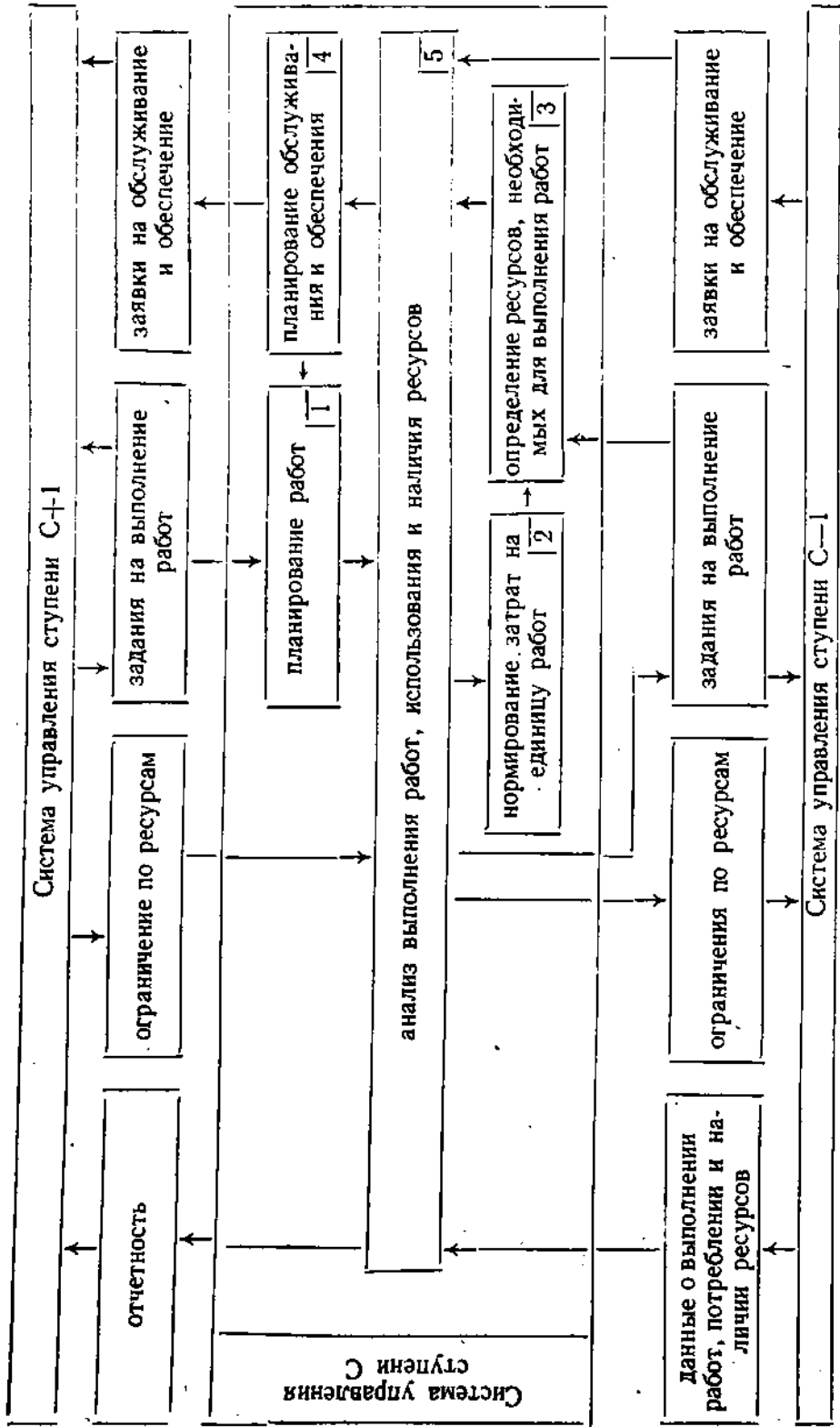


Рис. 15. Элементарное звено системы управления производством

лестницы управления является управляющим органом относительно ближайшего нижнего звена $C - 1$ и объектом управления по отношению к верхнему звену управления $C + 1$.

2. Для всех звеньев одинаковы внешние связи. По вертикали они выражаются в заданиях на выполнение работ и ограничениях по ресурсам (сверху — вход, внизу — выход); в отчетности о выполнении работ, затратах на работы, наличии ресурсов и в заявках на ресурсы (снизу — вход, вверху — выход); по горизонтали — в превращении заявок одних звеньев уровня C в задания других звеньев того же уровня.

Такое превращение происходит на ступени $C + 1$, где для определения заданий звеньям уровня C необходимо иметь по крайней мере данные о производственной мощности всех звеньев уровня C , об их затратах на производство работ, оценках единиц работ и получаемых сверху (со ступени $C + 2$) ресурсов, где они образуются в результате оптимизации распределения работ и ресурсов между звеньями уровня $C + 1$.

Задания, ограничения, заявки и отчетность на различных ступенях различаются шириной производственного участка, охватываемого заданиями; периодом времени, на которое даются задания (шагом управления); степенью укрупнения (агрегирования) показателей.

Производство всегда конкретно и связано с потреблением столь же конкретных ресурсов. Тем не менее без укрупнения (при движении вверх) и разукрупнения (при движении вниз) показателей, т. е. без преобразования информации по вертикали, не обойтись.

Во-первых, конкретные задания не всегда преследуют столь же конкретную цель. Строительство металлургического завода, например, осуществляется на основе конкретных заданий и заявок, однако его будущая продукция известна лишь в довольно общем виде (это, правда, допустимо только до начала выпуска заводом металла).

Во-вторых, технологические особенности производства диктуют необходимость обобщения данных о затратах на единицу продукции, а также перехода от одной единицы измерения к другой. В литейных цехах, например, отливки заготовок деталей и необходимые для изготов-

ления их формы и стержни учитываются поштучно, а металл и песок (для отливки деталей, изготовления форм и стержней) — в тоннах.

В-третьих, выбор наилучшего варианта технологического процесса или производственных связей основывается, как правило, на использовании денежных оценок, которые представляют собой не что иное, как приведенные в процессе оптимизации баланса к единому денежному выражению многочисленные затраты на производство по сопоставляемым вариантам.

В-четвертых, статистика позволяет составлять прогнозы тем точнее, чем большими данными она располагает. Можно, например, довольно точно определить на основе статистических методов снижение трудоемкости выпускаемой машины в планируемом периоде, но почти невозможно это сделать по каждой отдельной технологической операции.

Увязка заданий и заявок внутри звеньев по горизонтали может привести к расхождению заявок на различных ступенях управления по вертикали. Такое расхождение возможно при отклонении учтенного содержания укрупненной единицы от реального и более точном прогнозировании изменения норм на более высоких ступенях управления в связи с возможностью использования более обширного материала. В первом случае достаточно лишь уточнить содержание укрупненных единиц, во втором — наметить организационно-технические мероприятия, обеспечивающие приведение в соответствие показателей различных уровней.

При этом планы организационно-технических мероприятий конкретизируются сверху вниз и с течением времени. Когда для завода, например, устанавливается задание по снижению трудоемкости, на предприятии разрабатывается план организационно-технических мероприятий, направленных на его выполнение. Если включенные в план мероприятия не обеспечивают заданное снижение трудоемкости, то в этом видят обычно расхождение между техническим и экономическим планированием. Такие задания называют «волеуаристскими» или «волевыми».

На самом же деле расхождения неизбежны, так как в начале года нельзя предусмотреть, какие организационно-технические мероприятия появятся в течение года,

и включать их в годовой план, а задания по снижению трудоемкости, обоснованные путем статистической обработки данных о динамике трудоемкости за предшествующий период, устанавливаются на весь год. Чем больше минувший период времени, за который ведется статистическая обработка, тем точнее информация о нормах затрат и прогноз их динамики; чем короче шаг управления (период планирования), тем точнее заявки.

3. Процессы переработки информации, одинаковые для всех звеньев, на схеме показаны прямоугольниками, расположенными на ступени С.

В прямоугольнике 1 задание, полученное по ступени $C+1$, конкретизируется во времени и пространстве на основе принятых параметров и методов регулирования, т. е. определяются моменты времени и производственные точки контроля и регулирования хода производства в $C-1$. Контроль осуществляется путем сравнения учетных данных с запланированными. Поэтому планирование устанавливает задания для ступени $C-1$ на те моменты времени и для тех производственных точек, в которых сопоставление задания с фактом является необходимым для принятия мер (регулирования), обеспечивающих выполнение задания за весь планируемый отрезок времени. Это позволяет (в соответствии с результатами анализа и принятыми методами регулирования) постоянно корректировать задания для ступени $C-1$ внутри отрезка времени, планируемого для звена ступени С, или передавать управление звену $C+1$.

В прямоугольнике 2 показано нормирование затрат на единицу работ, запланированных звену ступени С. Нормы разрабатываются методами прогнозирования, основанными на статистическом исследовании данных участка о фактическом ходе производства на ступени $C-1$, на различных научно-технических данных или экспертных оценках, если других данных нет.

Технические и опытно-статистические нормы различаются между собой тем, что первые являются синтезом затрат, определенных для каждого элемента технологической операции, вторые определяются на всю операцию, без деления на элементы. Деление операции на элементы имеет смысл тогда, когда все или большинство ее элементов уже неоднократно выполнялось во многих других операциях, в связи с чем связанные с ними затраты из-

вестны, проверены практикой, а в ряде случаев получены путем статистической обработки данных, специально поставленных лабораторных или производственных экспериментов.

Экспертные оценки — это продукт обработки интуитивных соображений специалистов, имеющих практический опыт работы в соответствующей области, тех соображений, процесс формирования которых пока еще не поддается формализованному описанию.

В прямоугольнике 3 показано (на основе использования информации о нормах и задании) определение ресурсов, необходимых для выполнения работ.

В прямоугольнике 4 раскрывается планирование обслуживания и обеспечения производства, составление заявки на поставки ресурсов, учитываются потребность и данные анализа отклонения фактического наличия от планового. В зависимости от того, кем осуществляется обслуживание и обеспечение (даным или другими звеньями управления), корректируется задание (в первом случае) или выдаются заявки на ступень $C+1$ (во втором случае).

В прямоугольнике 5 анализируется ход производственного процесса по линиям: а) выполнения работ, б) качества норм затрат на работы, в) наличия ресурсов, г) качества и соответствия требованиям производства принятых параметров и методов регулирования. Анализ начинается со сравнения фактических данных с планируемыми и оценки отклонений, а завершается выработкой решений об изменении плана, норм, ресурсов или методов учета, анализа и регулирования для звена $C-1$.

При отсутствии на уровне C методов регулирования, обеспечивающих выполнение задания звеном этого уровня, управление передается звену $C+1$, где решаются вопросы по звену C об изменении: а) общей величины задания и заявок на весь отрезок времени; б) моментов времени, производственных точек и методов регулирования с целью повышения в дальнейшем надежности выполнения заданий данным звеном; в) величин отклонений, при достижении которых к регулированию хода производства подключается вышестоящее звено; г) методов прогнозирования норм расходования ресурсов, включая методы статистической обработки данных за истекший промежуток времени, период, за который привлекаются

данные для статистической обработки, выбор моментов времени и производственных точек учета данных, необходимых для статистической обработки и прогнозирования.

Таким образом, система управления производством состоит из одинаковых по характеру внешних связей и внутренних функций звеньев, связанных между собой как по вертикали, так и горизонтали. По вертикали эта связь выражается в заданиях (прямая), заявках и отчетности (обратная), по горизонтали — в заявках и заданиях, прошедших верхние ступени управления с целью их увязки на всех ступенях. Совершенно очевидно, что в общественном производстве крайних звеньев управления по горизонтали нет: все они замыкаются в кольцо. Сбалансированность на каждой ступени иерархической лестницы управления заданий на производство и заявок на производственное и непроизводственное потребление — главное условие непрерывности хода общественного производства.

Нижними звеньями системы общественного производства в качестве объекта управления являются рабочие места. Следовательно, нижним звеном системы управления общественным производством является то, которое выдает задания на рабочие места, организует и ведет учет хода производства на рабочих местах (этот учет обычно называется первичным), организует на них обслуживание и обеспечение производства.

Верхним звеном системы управления общественным производством является общество как потребитель. В этом звене под воздействием материальных процессов, протекающих в природе и производстве, возникают, формируются и движутся вниз потоки управляющей информации.

Данное описание функций элементарного звена системы управления не претендует на исчерпывающую полноту и точность. Цель его — показать, что в принципе возможно построение элементарной АСУ (автоматизированной системы, реализующей функции элементарного звена управления). Это значит, что и любая система автоматизированного управления производством может создаваться как синтез элементарных АСУ.

Решение проблемы построения элементарной АСУ — дело будущего. Сейчас же в общественном производстве

рассматриваются главным образом три ступени управления: народное хозяйство, отрасль, предприятие. Каждой из них присущи свои функции управления.

Фундаментом управления общественным производством в рамках всего народного хозяйства является автоматизированная система управления производством на предприятии (АСУП), обеспечивающая быструю переработку и выдачу вверх точной информации о положении дел на местах, необходимой для разработки плановых заданий. Без автоматизации управления производством на предприятиях невозможно построение и тем более четкое функционирование автоматизированной системы управления всем общественным производством.

Построение АСУП, так же как АСУ для отрасли и народного хозяйства, далеко не простая задача. Для этого требуется прежде всего точное математическое описание процессов планирования производственной программы по всем подразделениям завода и расчета затрат, необходимых для выполнения программы. Исходной информацией при этом являются задания директивного плана, которые в свою очередь определяются с учетом производственных мощностей предприятий, их потребностей в материальных и трудовых ресурсах, возможностей удовлетворения этих потребностей.

Математическое описание процессов оптимального календарного планирования укажет пути наилучшего использования в каждый данный момент производственных фондов предприятий, их материальных и трудовых ресурсов.

Разработка и внедрение технических средств получения, передачи и переработки первичной информации позволяют в любой момент времени иметь точное представление об основных фондах, материальных и трудовых ресурсах предприятия, фактических результатах их использования.

Математическое описание методов оперативного воздействия на ход производства и его регулирования, исходя из задач, поставленных народнохозяйственным планом, и фактического состояния дел, быстрое поступление необходимой информации и качественная ее переработка позволят находить такие оперативные решения, которые обеспечат постоянное приближение фактического хода производства к оптимальному.

7. Задачи по управлению производством

Многоступенчатость иерархической лестницы управления производством, множество переплетающихся между собой, взаимосвязанных и взаимодействующих функций управления требуют, как уже указывалось, системного подхода к решению вопросов автоматизации управления производством.

Построение АСУ охватывает три взаимосвязанные стороны: экономическую, математическую и техническую. На долю экономической кибернетики приходится проблемы разработки экономической части использования математических методов и технических средств.

Экономическая часть в зависимости от шага управления может быть в свою очередь разделена на экономическую и организационную, но как одна, так и другая должны дать точное описание процессов управления, обеспечивающих достижение заданной цели. Цель здесь всегда экономическая, а для ее достижения требуется определенная организационная работа. На предприятиях к экономистам относят работников, организующих работу предприятия в более крупном шаге управления (год, месяц), к организаторам — работников, оперативно обеспечивающих выполнение заданных экономических показателей.

Управление в любом шаге — это комплекс функций планирования, учета, анализа и регулирования в экономическом разрезе и функций по сбору, переработке и выдаче информации в технологическом разрезе. Оба разреза в значительной мере совпадают один с другим: учет и анализ — это сбор и переработка информации; выдача — регулирующее воздействие, и оба отражают вполне определенную последовательность фаз управления. Для выработки любого управляющего воздействия необходимо сперва собрать информацию о цели управления, состоянии и поведении объекта управления, переработать ее и выдать сигнал управления. Комплекс последовательно выполняемых функций по сбору, переработке и выдаче управляющей информации именуется процессом управления (по аналогии с технологическим процессом).

С другой стороны, различные процессы управления переплетаются между собой, связаны общими средства-

ми и методами сбора, переработки или выдачи информации. Данные учета выработки рабочего, например, нужны для начисления заработной платы, определения загрузки оборудования, разработки норм, расценок и т. д.

Конкретность и границы процессов управления наиболее четко выражаются в рамках так называемых задач по управлению. *Задача по управлению производством* — это локальный, четко очерченный участок системы переработки информации. Он ограничен, с одной стороны, выходом конкретной переработанной информации, с другой стороны — информацией входной, необходимой и достаточной для получения информации выходной. На рис. 16 схематично показано место задачи по управлению производством в системе управления.

Формулировка задачи заключается в определении форм выходной и входной информации, описании способа переработки входной информации в выходную, т. е. в разработке алгоритма, без которого не может быть гарантирована достаточность и полезность входной информации.

Различные задачи связаны между собой как по входной и выходной, так и промежуточной информации, образующейся в процессе переработки.

Комплексами взаимосвязанных задач по управлению описываются все функции и процессы управления, а стало быть, и вся экономическая часть системы управления, взятой в целом.

Задачи описываются в два приема: постановка задачи и задание на программирование.

Постановка задачи необходима в том случае, если недостаточно известны математические методы, применение которых позволит преобразовать входную информацию в выходную. По постановке задачи разрабатывается экономико-математическая модель преобразования информации. Постановка задачи включает в себя: формулировку задачи с указанием функций, цели и ограничений; содержание выходной информации; задание на определение математического метода переработки информации; содержание входной информации.

Задание на программирование выдается тогда, когда математические методы преобразования информации известны, благодаря чему можно сразу же начать разработку программ для ЭВМ.

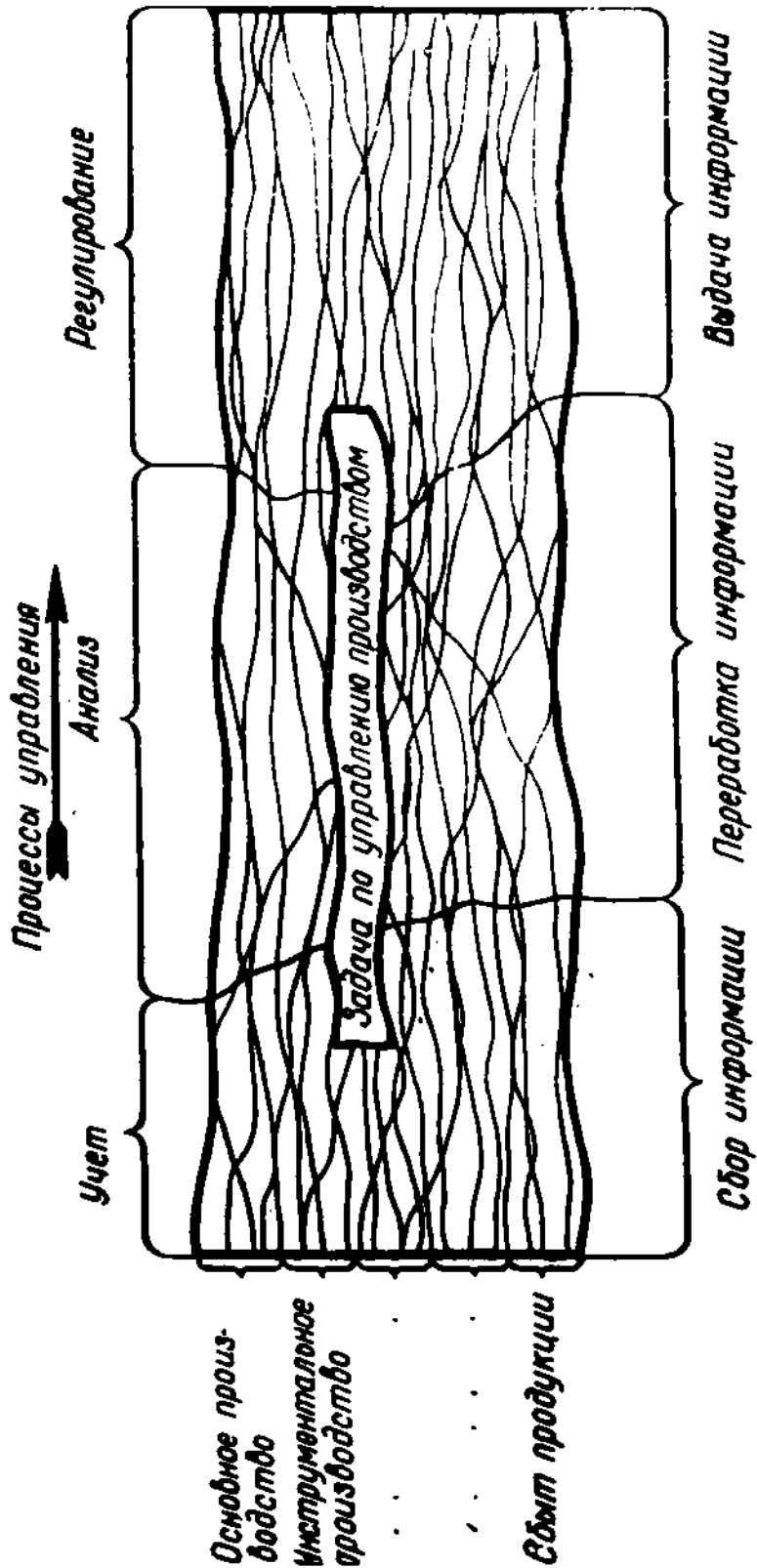


Рис. 16. Поток информации в системе управления производством

Задание состоит из полного описания задачи и всех видов информации, участвующих в ее решении, алгоритма обработки данных. Задание на программирование является, как правило, утверждаемым документом. Программирование весьма трудоемкий процесс, и любые изменения задания могут вызвать значительную и даже полную переделку готовых программ.

В описание информации входят: а) текстовая часть, в которой излагаются цель, метод, сущность и периодичность решения задачи; б) формы всех видов информации; в) дополнения к формам, характеризующие информационную емкость, структуру, размещение и условия существования реквизитов (количество символов: всего, до запятой и после запятой; количество и последовательность размещения строк; пределы изменения чисел; наличие или отсутствие одних реквизитов в зависимости от других и т. д.); г) указание системы шифров (идентификации); д) указание о получении информации с машинных носителей, образованных при решении других задач; е) указание данных, хранимых на машинных носителях для последующего их использования; ж) специальные требования к выходной информации (разбиение на страницы, подчеркивание данных, ввод наименований лиц, подписывающих документы, и т. д.); з) перечень форм и периодичность внесения изменений в справочную информацию.

Описание информации должно отвечать требованиям используемого при программировании алгоритмического языка.

Алгоритм обработки данных представляет собой описание содержания и последовательности операций преобразования данных из одного вида в другой. Это латинизированное аль-Хорезми — имя выдающегося узбекского математика и астронома IX в., сформулировавшего строго определенные правила выполнения арифметических действий над десятичными числами.

В материальных процессах описание содержания и последовательности операций преобразования предметов труда носит название технологического процесса. Эти процессы, в том числе и в преобразовании информации, во-первых, конкретны, поскольку они привязаны к определенной работе, например к обработке изделия, имеющего вполне определенные, оговоренные чертежом

и техническими условиями размеры, допуски, твердость поверхностей и т. д., и, во-вторых, абстрактны, так как в них не описывается множество таких реальных действий, как перемещение с одной технологической операции на другую, складирование и другие вспомогательные работы.

В отличие от технологического процесса алгоритм обладает определенностью, массовостью и результативностью.

Определенность — это точность и полнота изложения, обеспечивающие однозначность толкования алгоритма и не оставляющие места для произвола (28, стр. 185).

Массовость — приемлемость алгоритма для преобразования множества количественно различающихся между собою данных, претерпевающих качественно одинаковые преобразования. Расчет объема товарной продукции, например, выполняется совершенно одинаково при самых разнообразных конкретных количествах и оценках составляющих его натуральных единиц. Типовые технологические процессы по этому свойству значительно приближаются к алгоритму.

Результативность — получение конкретного результата при конкретных исходных данных и конечном числе операций.

Все эти свойства алгоритма обеспечиваются прежде всего идентификацией единиц информации и четким описанием процесса преобразования данных, выраженных идентификаторами.

В зависимости от применяемого алгоритмического языка к алгоритмам предъявляются дополнительные требования: а) состав алфавита как перечень допустимых символов (цифры, буквы, знаки и т. д.); б) слова, используемые для выполнения тех или иных действий с информационными совокупностями (сложить, перейти, из, с, к и т. д.), которые не могут быть использованы в качестве идентификаторов; в) ограничения для формы изложения (порядок размещения слов, предельное число символов в слове, интервал значений реквизита, строч-

ность записи, $A = \frac{B_1 + C^2}{D}$, например, записывается как

$A = (B[1] + C \uparrow 2) / D$ и т. д.).

8. Организационная структура

Управление производством требует такой его организации, которая обеспечивает бесперебойное течение всех связанных с ним информационных процессов. Система управления, как уже указывалось, — это совокупность всех средств, обеспечивающих осуществление функций управления. Всякая система представляет собой не простую, а определенным образом упорядоченную совокупность, что и выражается в организации системы. Таким образом, *организация* — это размещение, взаимосвязь и взаимодействие элементов, определяющие качество системы и ее функционирование. *Предмет организации* — установление состава элементов, их связи и потенциального взаимодействия с целью обеспечения условий оптимального функционирования системы.

Следует подчеркнуть, что под организацией можно (так обычно и бывает) понимать и действия по упорядочению элементов системы и упорядоченность как состояние системы. Это часто вносит путаницу в рассмотрение вопроса и вызывает излишние споры, вытекающие из того, что одна спорящая сторона под организацией понимает действия, а другая — состояния.

В системах управления, как уже указывалось, всякое действие называется функцией управления, в связи с чем и организация понимается однозначно — как упорядоченность (а не процесс упорядочения).

Упорядоченность одной системы управления может быть результатом функционирования другой. Поскольку они обе могут рассматриваться в рамках единой системы управления, постольку управление можно определить как процесс построения и использования организации системы.

Производство и есть та система, в которой управление всегда сочетается с построением и использованием организации производства. Организация управления, таким образом, — та среда, в которой протекают информационные процессы. Она характеризуется структурой управления и функциями, подлежащими выполнению каждым структурным подразделением.

Под процессом управления (как и под технологическим процессом) подразумевается комплекс последовательно выполняемых функций или действий, обеспечива-

ющих переработку исходной информации в конечную, по ходу потока информации. В различных процессах управления (как и в технологических) имеются одинаковые или аналогичные переделы информации. В зависимости от целесообразности объединения переделов (фаз) в информационных потоках — по признаку общности процесса управления (вдоль потока) или по признаку однородности переделов (поперек потока) — используется комплексный (линейный) или функциональный принцип организации управления.

При *комплексном* принципе структурные подразделения управляют выполнением различных функций по ходу потоков информации.

При *функциональном* принципе структурные подразделения управляют выполнением одинаковых функций в различных процессах управления.

Комплексная организация сокращает информационные связи между структурными подразделениями, что облегчает управление ими, но требует более глубокой переработки входной информации в выходную внутри структурных подразделений.

Функциональная организация управления, как и производства вообще, увеличивает количество внешних входов и выходов структурных подразделений. Расчленивая процесс переработки информации, она позволяет провести специализацию подразделений по функциям со всеми вытекающими из этого последствиями (автоматизация процессов, унификация средств и методов, повышение оперативности использования ресурсов, углубление квалификации персонала и т. д.).

На предприятиях практикуется и *смешанный* принцип управления производством, сочетающий комплексную и функциональную структуры. Само предприятие — комплексное звено управления. Его подразделения также строятся по комплексному принципу (цеха, участки, смены). Вспомогательные службы (ремонтная, инструментальная, включая заточку, транспортная) и отделы (планово-экономический, труда и зарплаты, бухгалтерия и др.) строятся по функциональному принципу полностью или до уровня цехов.

Кроме комплексного и функционального, применяется и так называемый *матричный* принцип. При матричном построении управления производством все подраз-

деления управляются функционально, но вместе с тем создаются специальные подразделения (руководители работ), обеспечивающие прохождение всех работ через функциональные подразделения.

9. Автоматизированная система

Каждый человек в отдельности испытывает многочисленные потребности, для удовлетворения которых он выполняет конкретные производственные функции. Эти функции определяет общество. На основе информации о потребностях людей оно формирует информацию об общественных потребностях. На основе информации об общественных потребностях и производственных возможностях формируется информация о задачах общественного производства и ограничении непроизводственного потребления. Задачи общественного производства реализуются только тогда, когда каждый отдельный член общества получает информацию о возложенных на него обществом 'производственных' функциях и в соответствии с ней управляет на своем рабочем месте предназначенной ему совокупностью средств производства.

Таким образом, информация о потребностях и ресурсах движется от человека вверх, доходит до самой верхней ступени иерархического построения системы общественного производства и оттуда спускается вниз, возвращаясь к человеку в виде производственных заданий и ограничений непроизводственного потребления.

Человек выступает в роли и потребителя и производителя. Между человеком-потребителем и человеком-производителем существует огромная, сложнейшая система сбора, передачи, хранения, переработки и выдачи информации. В этой системе информация о потребностях и ресурсах преобразовывается по вполне определенным законам в информацию о необходимых воздействиях на средства производства и ограничениях непроизводственного потребления, определяемых ограничениями по ресурсам.

Достижения современной науки и техники позволяют утверждать, что все информационные процессы, функционирующие между человеком-потребителем и человеком-производителем, могут быть автоматизированы, т. е.

выполняться без людей и лучше, чем они выполняются людьми. Но эта задача может быть решена только в результате напряженнейшего труда ученых, экономистов, инженерно-технических работников и рабочих, совместными усилиями науки и производства.

Наиболее полный комплекс функций управления производством действует на предприятиях машиностроения. На машиностроительных заводах ведется конструирование изделий, разработка технологии, подготовка производства, существует довольно мощное вспомогательное производство. Поэтому основные усилия по разработке автоматизированных систем управления предприятием (АСУП) сосредоточены сейчас в машиностроении (включая приборостроение).

К настоящему времени АСУП дано много определений. Немногие принципиальные различия между ними можно определить по следующим двум: 1. «Система управления производством, в которой применяются автоматические устройства для обработки данных» (26, стр. 100); 2. Упорядоченный «комплекс экономико-математических методов и технических средств сбора, передачи и преобразования информации, предназначенный для оптимального управления производством» (4, т. 1, стр. 601).

По первому определению вся система является АСУП, если в ней хотя бы частично применены какие-либо средства автоматизированной обработки данных, по второму — к ней относится только та часть системы управления, в которой автоматизированы информационные процессы.

Чтобы по первому определению отнести систему к АСУП, нужно знать, что такое автоматические устройства обработки данных и применяются ли они в системе. В кратком толковом словаре терминов по автоматизированным системам управления отраслями и предприятиями, изданном Центральным научно-исследовательским и проектно-технологическим институтом организации и техники управления (ЦНИИТУ), дается объяснение почти 30 различным устройствам, но понятие «автоматическое устройство для обработки данных» не сформулировано.

Предположим, что таким устройством является ЭВМ. Но даже такое устройство на предприятиях использует-

ся пока в основном лишь для обработки данных, относящихся к основному производству, а система управления охватывает и производство вспомогательное. Вся ли система при этом должна рассматриваться как автоматизированная? Как быть с отраслевой системой управления, если хотя бы на одном из ее предприятий функционирует ЭВМ?

Второе определение более четко очерчивает границы автоматизированной системы управления производством: все взаимосвязанные между собой процессы управления, выполняемые техническими средствами, входят, а выполняемые без них, не входят в состав автоматизированной системы. Каким же должен быть комплекс экономико-математических методов и технических средств, чтобы он оказался достаточным для АСУП? На этот вопрос отвечают как второе определение АСУП, так и наименование этой системы.

Комплекс АСУП определяется совокупностью фаз управления: сбор, передача, переработка и выдача информации. Применения счетов, арифмометров и даже автоматизированных счетно-клавишных машин, в значительной мере автоматизирующих обработку данных, для АСУП еще недостаточно: с помощью этих средств выполняются лишь отдельные операции по переработке информации, замыкающиеся в систему управления производством через людей.

Нельзя считать АСУП и телефонную связь, если она используется только для передачи информации.

На машинно-счетных станциях, укомплектованных счетно-перфорационными машинами, и в вычислительных центрах с ЭВМ выполняются все фазы переработки информации и, следовательно, эти участки могут быть отнесены к АСУП. Здесь информация переносится на перфокарты или перфоленты, считывается машинами, преобразовывается из одного вида в другой и выдается в виде табуляграмм для принятия решений о воздействиях на производство.

Вместе с тем информация, содержащаяся на перфокартах или перфолентах, не является первичной. Это уже готовые данные, продукт иногда весьма существенной переработки первичной информации. Поэтому системы, в которых информация поступает на переработку после предварительной подготовки ее на специальных

носителях, получили название автоматизированных систем обработки данных.

Подготовка информации на специальных носителях в свою очередь может быть автоматизирована, а многие фазы управления выполняться вне ЭВМ. Поэтому АСУП может выйти далеко за рамки ЭВМ. Известно, что в ряде АСУП, применяемых за рубежом, до 70% стоимости системы приходится на так называемые периферийные устройства и только 30% — на ЭВМ.

Примером элементарного технического устройства, совмещающего все фазы управления, может служить счетчик количества изготовленных изделий. В нем учитывается каждая единица, текущая информация об изготовлении каждой единицы преобразовывается в накопительные данные, за некоторый период времени выдаются результаты, необходимые персоналу предприятия. Поэтому систему даже из одного, а тем более из комплекса счетчиков, охватывающих производственный участок, вполне можно назвать автоматизированной. Причем ее границы могут быть довольно четко очерчены названием (например, система автоматизированного учета работы оборудования).

Сторонники первого определения АСУП считают его преимуществом то, что система управления производством неразрывна, и утверждают, что нельзя вести разработку автоматизированной части, не определив организацию и функции всех частей системы. Но подобные утверждения можно адресовать любой сложной системе. Задача всегда заключается именно в том, чтобы разработать автоматизированную часть и определить ее связь с остальными элементами системы, только в этой мере вторгаясь в неавтоматизированную часть.

Можно, например, сказать, что корабль без команды не корабль, поскольку без людей он не выполнит своих функций. Однако для конструкторов судно остается кораблем независимо от наличия или отсутствия команды. Придя на судно, команда начинает управлять именно им, хотя в этот процесс входит управление и людьми, выполняющими многие функции, связанные с затратами как физической, так и интеллектуальной энергии.

Из определения АСУП как упорядоченного комплекса экономико-математических методов и технических средств реализации информационных процессов неавто-

матризированная часть выпадает. АСУП — это вещественная система, организованная определенным образом и предназначенная для выполнения конкретных функций.

Применение универсальных ЭВМ позволяет решать задачи управления в шаге до суток, а в крайнем случае и до смены. Для систем такого класса достаточно иметь серийно выпускаемые нашей промышленностью универсальные электронные вычислительные машины. Кроме того, они нуждаются в устройствах автоматического ввода оперативной информации, исключающих ручную перфорацию.

Такие устройства работают по двум основным принципам: автоматическое считывание данных со специального бланка, на котором проведены черточки — отметки данных (устройство типа «Бланк»), считывание призначной информации сообщений с перфожетонов, перфокарт, перфобланков, стандартных слов и т. д. (устройство типа «Ввод»). В последнем случае количественная информация может вводиться посредством клавишей.

Для устройства типа «Бланк» нужны специальные документы, они транспортируются на вычислительный центр и вводятся в ЭВМ по мере накопления. «Ввод» обеспечивает использование информации в реальном масштабе времени, т. е. сразу же по мере ее образования, что позволяет исключить документы вообще.

Для контроля и учета хода производства внутри смены в реальном масштабе времени в системах предусматриваются подсистемы:

а) сигнализации (пульты, световые табло и т. д.) с выходом на ЭВМ (непосредственно или через автоматически получаемую перфоленду) учета простоев и других видов информации, передаваемой через систему сигнализации;

б) автоматических датчиков первичной информации (о выработке продукции, наличии запасов на складе, расходе электроэнергии и т. д.);

в) ввода информации, образующейся нерегулярно (межцеховые передачи, брак и др.);

г) вывода информации о состоянии производства или о необходимых управляющих воздействиях (табло, печатающие устройства и т. д.).

Для непосредственного ввода информации ЭВМ оборудованы многопрограммным управлением и системой

прерывания. К числу таких машин относятся: «Минск-23», «Минск-32», «Рута-110», «Днепр-2» и др. Непосредственный ввод в ЭВМ информации о ходе производства позволяет не только собирать данные в реальном масштабе времени и выдавать их по требованию обслуживающего персонала, но и оперативно управлять производством, т. е. в нужный момент, без запроса выдавать управляющему персоналу предписания о его поведении в сложившейся обстановке.

Технические средства управления, как и любая техника, являются продуктом труда, результатом вполне определенного, установленного чертежами и техническими требованиями упорядочения материи. Методы материализуются в виде программ функционирования устройств. Программа работы, например, счетчика изготовленных изделий материализована в его конструкции и может измениться только вместе с нею. Программа ЭВМ отделена от конструкции машины, материализуется в виде бумажной ленты с отверстиями или магнитной ленты с намагниченными и размагниченными участками. Конструкция электронной вычислительной машины позволяет выполнить все функции, предписанные одной или большим количеством программ.

Поэтому АСУП можно рассматривать как организацию (упорядоченный комплекс) технических средств и программ сбора, передачи и обработки производственной информации.

Любое автоматическое устройство всегда имеет собственную программу функционирования, качество которого в конечном счете определяется качеством выполнения программы. Если на устройство возлагается выполнение нескольких программ, то они отделяются от устройства и существуют самостоятельно (в смысле их разработки и изготовления). Программа функционирования, например, часов — высокая точность хода стрелок. Она реализуется благодаря конструкции и изготовлению множества мельчайших и сложнейших деталей, каждая из которых выполняет свою постоянную программу.

Программа функционирования любой из частей ЭВМ должна обеспечивать последовательное выполнение всей машиной многих программ, имеющих вид перфорированных бумажных или магнитных лент, а до этого — бумажных листов, исписанных цифрами.

Скромный вид программ долгое время не внушал к ним уважения, особенно при сравнении их с самими ЭВМ. Несмотря на существенные успехи в производстве отечественных ЭВМ, используются они в АСУП совершенно неудовлетворительно. Для машин, великолепно реализующих любые правильно разработанные программы, не созданы программы, необходимые в АСУП. ЭВМ же без программ все равно, что автоматическая линия без технологической оснастки.

Трудности разработки программ для АСУП состоят, конечно, не в том, что в бумажной ленте нужно пробить много отверстий, а в том, что необходимо материализовать методы и формы управления путем строгого упорядочения размещения отверстий на лентах.

Упорядочение отверстий на бумажной ленте требует прежде всего упорядочения самих методов и форм управления. Но пока лишь относительно небольшое число форм отчетной документации унифицировано ЦСУ. Вся же не передаваемая в ЦСУ плановая, аналитическая и учетная документация, особенно методы и параметры планирования и регулирования, разрабатывается в каждом производственном звене самостоятельно, здесь царит самое неограниченное и необоснованное творчество, точнее — произвол.

В технике, системы которой значительно проще систем управления производством, введены значительные ограничения в выборе решений. Химический состав материалов, размеры резьбы, допуска и посадки, оформление чертежей и многое другое не могут изобретаться каждым конструктором, на все есть стандарты или нормали. В системах же управления производством каждый «творит» что только вздумает.

Явно ненормальное положение сложилось, например, с разработкой АСУП для 2-го Московского и Минского часовых заводов. Центральным научно-исследовательским и проектно-технологическим институтом организации и техники управления. Вначале конструкторы пытались находить на одинаковых по сути дела заводах одинаковые по формам и методам участки переработки информации и на этой основе принимать общие решения.

Однако вскоре выяснилось, что эти попытки безнадежны. Нахождение решений, приемлемых для обоих предприятий, оказалось не только затруднительным, но

и невозможным, так как системы разрабатывались по заказам заводов (на договорной основе). Вести разработку двух разных систем оказалось проще преодоления различий в мнениях двух заказчиков одинаковых по назначению АСУП.

Так в институте сперва появились две различные темы, затем сформировались самостоятельные лаборатории и теперь между АСУП для двух одинаковых заводов нет ничего общего.

Разработка оригинальной АСУП для каждого предприятия и каждым предприятием не может быть признана рациональной. Известно, что за рубежом АСУП создают фирмы, выпускающие ЭВМ (ИБМ в США, Лео в Англии, Оливетти в Италии). Предприятия в разработке не участвуют и покупают готовые системы. Во внедрении и даже эксплуатации систем главная роль также принадлежит поставщикам.

Оснащение ЭВМ готовым комплексом программ для автоматизации управления производством требует четкой классификации предприятий и функций управления, выделения из них функций, общих для групп предприятий, и автоматизации этих функций в первую очередь.

Первоначально системы автоматизированного управления машиностроительными заводами, например, можно ограничить функциями: подетальное планирование производства; расчет загрузки оборудования; расчеты по материально-техническому снабжению; определение потребности в рабочей силе и расчеты по заработной плате; оперативный, бухгалтерский учет и анализ производства. Такой метод разработки АСУП облегчил бы создание технических средств управления, запуск их в серийное производство и ускорил бы оснащение ими промышленности.

Классификация, унификация и оптимизация методов и форм реализации функций управления должны предшествовать работам по созданию АСУП, а они у нас были начаты (и то весьма робко) лишь после того, как выпускаемые нашей промышленностью ЭВМ стали поступать на предприятия и потребовали загрузки.

Плохая организация работ по созданию АСУП и настоятельная потребность в них, обостряемая поставками предприятиям ЭВМ, лишенных какого-либо оснащения, привели к тому, что разработками АСУП в тех или иных

масштабах начали заниматься сотни различных организаций. Хотя уже совершенно очевидно, что мелкими подразделениями и небольшими силами проблемы автоматизации управления производством не решить, число таких организаций продолжает быстро расти. В Государственном комитете Совета Министров СССР по науке и технике такое ненормальное положение расценивается как положительный факт*.

Общеизвестно, что эффект любого новаторского почина тем выше, чем шире охвачены им массы. Это, однако, не значит, что при автоматизации управления производством успех окажется тем вероятнее, чем больше организаций будет выполнять весь комплекс работ по созданию АСУП (авось где-нибудь и что-нибудь да выйдет!).

Вместо того чтобы решительно прекратить расточительство государственных средств, многочисленным предприятиям и организациям рассылаются различного рода руководящие и методические материалы по разработке систем.

Трудно представить аналогичное положение в какой-либо другой области народного хозяйства. Можно ли допустить даже мысль о том, чтобы конструкторы, разрабатывающие и предприятия, выпускающие сельскохозяйственные орудия к тракторам, вместо них давали бы колхозам и совхозам руководящие материалы о том, как сделать орудия, и методические положения по расчету экономической эффективности их использования?!

Тем не менее именно такое положение с разработкой АСУП считается нормальным. Вместо того чтобы принять меры к преодолению стихии, сосредоточению ресурсов на разработке типовых систем, оснащению выпускаемых ЭВМ комплексом состыкованных в систему программ реализации типовых функций управления производством, предпринимаются попытки овладеть стихией путем рассылки рекомендаций, которые даже не являются обобщением положительного опыта, поскольку ни одна из многочисленных организаций, работающих над созданием АСУП, его еще не имеет.

Разработка состыкованных в систему программ реализации типовых функций управления по сложности

* См. «Экономическая газета», 1968, № 11, стр. 23—26.

не уступает разработке самых сложных технических систем и требует концентрации научных сил, технических и финансовых средств. Финансирование, в частности, этих работ по договорам с предприятиями не способствует успешному их ведению.

В данном случае также напрашивается аналогия с оснащением тракторов сельскохозяйственными орудиями. Можно ли ставить вопрос о том, чтобы каждое орудие проектировалось и изготавливалось по заказам колхозов и совхозов? Разработка же АСУП, как правило, финансируется потребителями (предприятиями). В результате объемы и содержание работ диктуют заказчики, силы и ресурсы распыляются по многим объектам, исключается возможность создания типовых систем и перспективных разработок.

По далеко не полным данным, разрабатывающие АСУП организации ежегодно расходуют десятки миллионов рублей, а отчитываются лишь за разработку и отладку алгоритмов и программ. Если учесть затраты на выпуск неоснащенных программами ЭВМ и установку их на предприятиях, создание вокруг них вычислительных центров, занимающихся главным образом разработками и бесконечными отладками программ реализации отдельных, не замкнутых в систему управления задач, то ежегодные затраты вырастают еще на порядок.

Следовательно, несмотря на огромные затраты, создание автоматизированных систем управления производством находится на уровне, не отвечающем современным требованиям. Очевидно также, что с подобным положением на важнейшем направлении технического прогресса мириться дальше нельзя. Следовало бы: а) возложить ответственность за разработку АСУП на Министерство радиотехнической промышленности, выпускающее ЭВМ; б) запретить поставку предприятиям ЭВМ, не оснащенных комплексом программ, образующих АСУП; в) передать Министерству радиотехнической промышленности Главсистемпром Министерства приборостроения, средств автоматизации и систем управления со всеми его институтами и другими организациями; г) обязать общесоюзные отраслевые министерства организовать работы по классификации и унификации процессов управления на предприятиях, чтобы создать необходимые предпосылки для успешной разработки и широкого внедрения АСУП.

Глава IV

ТЕОРИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКИ

В данной главе рассматривается экономический аспект теории оптимального функционирования социалистической экономики, разработанной ЦЭМИ АН СССР. Вместе с тем обосновывается мнение, что такие важнейшие, имеющие большое социальное значение проблемы, как оптимальное соотношение между рабочим и свободным временем, накоплением и потреблением, общественным и индивидуальным фондами непроизводственного потребления, должны решаться самостоятельно, вне общей модели оптимального планирования общественного производства, а принятые по этим проблемам решения должны учитываться как ограничения.

Математический и технический аспекты затрагиваются лишь в меру необходимости.

1. Важнейшие проблемы оптимального планирования

Актуальность проблем совершенствования управления производством на нынешнем этапе коммунистического строительства определила формирование теории оптимального функционирования социалистической экономики. Эта теория освещает процессы функционирования и развития социалистической экономики и планомерного управления ими на основе широкого использования экономико-математических методов и новейших технических средств реализации информационных процессов. Она является местом конкретного приложения экономической кибернетики, составляет основу разработки автоматизированной системы управления народным хозяйством. «Развивая политическую экономию социализма, эта теория углубляет анализ социалистического производства, доводя его до количественного описания народно-хозяйственных процессов» (39, стр. 15).

Теория оптимального функционирования социалистической экономики охватывает в основном три крупных раздела: оптимальное планирование, математическое обеспечение и техническое оснащение системы управления.

Только единство функций планирования, учета, анализа и регулирования составляет процесс управления. Однако по своему значению они не равнозначны.

Управление требует прежде всего вполне определенной цели, траектория движения к которой формулируется планом. Учет и анализ предназначаются для определения, а регулирование как комплекс тех же функций на более низкой ступени управления — для достижения цели. Поэтому планирование в процессе управления занимает ведущее место, подчиняя себе все остальные функции. В соответствии с этим все методы управления и средства их реализации подчинены в конечном счете определению в каждый конкретный момент времени конкретных задач, позволяющих наилучшим образом использовать наличные ресурсы. Поэтому и оптимальное планирование занимает главное место среди проблем оптимального функционирования социалистической экономики.

Оптимальный план функционирования социалистической экономики — это план производства материальных благ, максимально удовлетворяющих растущие производственные потребности общества при ограниченных в каждый момент времени производственных ресурсах. В нем конкретизируется основной экономический закон социализма, который в качественном отношении достаточно четко определяет цель общественного производства — максимальное удовлетворение растущих духовных и материальных потребностей всего общества.

По-видимому, можно согласиться с теми, кто считает этот закон всеобщим, а не специфическим для социализма законом развития человеческого общества, хотя он и проявляется по-разному на различных стадиях развития. При капитализме владелец средств производства стремится удовлетворять свои потребности путем концентрации капитала и расширения производства за счет эксплуатации рабочего класса, а рабочий — путем продажи капиталисту своей рабочей силы.

При социализме нет антагонистических классов. Интересы всех членов общества совпадают, деятельность каж-

дого из них вливается в единый целеустремленный поток. Главным законом, отличающим социализм от всех предшествующих общественно-экономических формаций и определяющим поведение в конечном счете всех подразделений и отдельных членов общества, является планомерное управление экономикой.

Планомерное функционирование и развитие экономики немыслимо без социалистического обобществления средств производства. Функционирование и развитие социалистической экономики немыслимы без единого плана, направленного на всемерное повышение эффективности общественного производства. Все это позволяет утверждать, что основным законом социализма и коммунизма является оптимальное планомерное управление функционированием и развитием экономики. Поэтому оптимальное планирование занимает ведущее место в проблемах функционирования и развития социалистической экономики не только с точки зрения управления общественным производством, но и с точки зрения политической экономии.

Многочисленные попытки экономистов точнее сформулировать основной закон социализма сводятся главным образом к уточнению его качественной определенности. Теория же оптимального управления экономикой требует точного знания не только качественной природы цели производства и происходящих в нем процессов, но и количественной их меры и поэтому требует решения ряда проблем. Основные из них:

а) соизмерение продуктов производства с точки зрения их общественной полезности, веса в удовлетворении материальных и духовных потребностей;

б) определение оптимального сочетания периодов труда и отдыха работников с учетом необходимости труда для отдыха, а отдыха для труда, а также тенденции превращения труда в потребность здорового организма;

в) определение доли имеющихся производственных и трудовых ресурсов, используемой на расширение рамок ограничений; нахождение оптимальных затрат на развитие производства с целью повышения завтра за счет сегодня уровня удовлетворения растущих непродовольственных потребностей общества;

г) нахождение оптимального сочетания централизации управления и самостоятельности производственно-

хозяйственных ячеек социалистического общества и определение на различных ступенях управления показателей и оценок, позволяющих на низших ступенях принимать решения, наилучшие с точки зрения высших ступеней. Здесь главное — определение укрупненных показателей и проблема цен, т. е. построение такой системы показателей, в которой прогнозирование на основе статистических данных изменения одних, более укрупненных показателей на высших ступенях и их детализация на основе нормативных данных на низших ступенях составляли бы единый процесс, и построение такой системы цен, при которой на всех ступенях управления по изменению издержек производства можно было бы судить о народнохозяйственной эффективности изменения производственных процессов;

д) создание математического и технического обеспечения функционирования системы. Эта проблема требует прежде всего решения всех предшествующих, после чего она становится областью приложения математических и технических наук. В настоящей работе она не рассматривается.

2. Стоимость как мера потребительной стоимости

Удовлетворение духовных или материальных человеческих потребностей всегда представляется в виде тех или иных процессов, в которых потребляются упорядоченные вполне определенным образом материя и энергия. «Природа этих потребностей, — порождаются ли они, например, желудком или фантазией, — ничего не изменяет в деле» (1, т. 23, стр. 43). Предметы потребления, как и все прочее, «можно рассматривать с двух точек зрения: со стороны качества и со стороны количества. Каждая такая вещь есть совокупность многих свойств и поэтому может быть полезна различными своими сторонами. Открыть эти различные стороны, а следовательно, и многообразные способы употребления вещей, есть дело исторического развития. То же самое следует сказать об отыскании общественных мер для количественной стороны полезных вещей...

Полезность вещи делает ее потребительной стоимостью. Но эта полезность не висит в воздухе. ...При рассмотрении потребительных стоимостей всегда предпола-

гается их количественная определенность, например дюжина часов, аршин холста, тонна железа и т. п. ... Потребительные стоимости образуют вещественное содержание богатства, какова бы ни была его общественная форма» (1, т. 23, стр. 43—44).

Этими определениями потребительной стоимости начинается гениальный труд К. Маркса «Капитал». В кратком изложении заключен большой смысл: 1) потребительная стоимость определяется полезностью вещей и проявляется в любой общественно-экономической формации; 2) выражается потребительная стоимость качеством и количеством вещей, ее носителей; 3) количественная сторона полезных вещей может быть выражена лишь общественной мерой; 4) отыскание этой меры дело исторического развития.

При дальнейшем изложении К. Маркс показал, что в условиях товарного производства труд, затрачиваемый на изготовление полезных вещей, является субстанцией их стоимости; единство потребительной стоимости и стоимости образует товар; обмен товаров как полезных для потребителей продуктов осуществляется на основе действия закона стоимости. Поскольку обмен товаров выражает взаимоотношения товаропроизводителей, постольку закон стоимости является законом развития общества, законом возникновения, развития и гибели товарного производства.

Закон стоимости устанавливает вполне определенные пропорции обмена. Когда в процессе обмена выясняется, что товар А в количестве x обменивается на товар Б в количестве y (любой из них может быть деньгами), то в этом отношении выражается мера и потребительной стоимости и стоимости. Его можно интерпретировать так: x товара А, получившего вполне определенные свойства в результате затрат на его производство вполне определенного количества труда, в той же степени удовлетворяет потребности общества, что и y товара Б. Свойства их совершенно различны, но количество затраченного на их производство труда может быть одинаковым.

Если затраты труда одинаковы, то обмен стимулирует повышение его производительности. Если же эти затраты различны, то некоторая часть общественного труда перемещается на производство продукта, требующего меньших затрат рабочего времени. Предложение такого про-

дукта обществу увеличивается, изменяя этим и пропорции обмена. Подвижность пропорций обмена определяет тенденцию распределения общественных ресурсов по отраслям производства в соответствии с потребностями общества в продуктах, выпускаемых этими отраслями.

Таким образом, товарное производство при подвижности пропорций обмена, выражаемых в конечном счете подвижностью цен товаров, представляет собой саморегулирующуюся систему. Качество ее функционирования характеризуется флюктуацией*, образующейся в результате разобщенности товаропроизводителей и исключаящей возможность их переключения на производство нужных обществу товаров в требуемых пропорциях. Каждый из них действует изолированно и по своему усмотрению.

По мере развития производства и повышения удельного веса производственного потребления в общем потреблении товаров потребительные стоимости отделяются от стоимости и получают натуральные измерения в виде различных норм расхода одних элементов на производство других. Потребности общества в них могут определяться расчетом, если известен конечный продукт. Поскольку в условиях товарного производства и частной собственности единственным регулятором является закон стоимости, то производство потребительных стоимостей производственного назначения также регулируется движением цен. Однако в данном случае этот механизм проникает в глубь производства, удаляется от человека с его непроизводительными потребностями, запросами, капризами и, естественно, становится более инертным, стабилизируя, конечно, этим и запросы человека.

При капитализме все функции закона стоимости реализуются через прибыль — превращенную форму стоимости. Отклонение цен от издержек производства является тем барометром, по которому каждый капиталист определяет свое поведение, стремясь занять наиболее выгодное положение в общественном производстве.

Движение рыночных цен относительно производственных издержек объективно отражает изменение пропорций в развитии общественного производства. Поэтому частные собственники, ориентируясь в погоне за прибылью на

* Флюктуация — колебания, беспорядочные отклонения случайных величин в обе стороны от их средних значений.

цены, в своей предпринимательской деятельности стремятся к восстановлению пропорций. При этом необходимым условием соблюдения пропорций является образование диспропорций. Вследствие этого анархия оказывается нормальным состоянием товарного производства, особенно на капиталистической стадии его развития. Пропорциональность же представляет собой лишь момент перехода из одного анархического состояния в другое. «Лишь как внутренний закон, — противостоящий отдельным агентам, как слепой закон природы выступает здесь закон стоимости и прокладывает путь общественному равновесию производства среди его случайных колебаний» (1, т. 25, ч. II, стр. 452—453).

Способы регулирования процессов по их отклонениям от заданных параметров известны и в технике. Нужно число оборотов коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания, например, обеспечивается тем, что подача топлива в камеру сгорания автоматически связана с центробежным регулятором и немедленно изменяется, если число оборотов отклоняется от заданного.

Правда, рыночные цены не столь чувствительны к изменениям пропорций в развитии общественного производства, как чувствительны грузы регулятора к скорости их вращения, а производительный капитал не так подвижен, как дроссельная заслонка двигателя. Поэтому капиталистическое товарное производство функционирует далеко не так ритмично, как хорошо отрегулированный двигатель. Обязательными спутниками капитализма являются безработица, недоиспользование производственных мощностей, кризисы, войны и т. д. Тем не менее и в том и в другом случае необходимый процесс осуществляется на основе постоянных его нарушений.

Положение существенно изменяется при возникновении и развитии капиталистических монополий: цены теряют чувствительность к изменениям соотношения между спросом и предложением товаров. До монополий наиболее инертным звеном закона стоимости как регулятора развития экономики являлась техническая перестройка производства, требовавшая длительного приспособления средств труда и производственной квалификации работников к непрерывно изменяющимся потребностям и запросам потребителей. При монополиях инертными становятся и цены, часто возникает такая ситуация, при кото-

рой выгоднее выбросить продукт, чем изменить на него цену, привести ее в соответствие с соотношением между спросом и предложением. К такому положению приводит объективное действие закона стоимости в условиях частной собственности, а не субъективные желания владельцев средств производства. Это можно проиллюстрировать на небольшой экономико-математической модели.

Предположим, что общество состоит лишь из двух частных собственников, из которых I монополизировал производство всех пищевых продуктов, а II — одежды. Первый производит 1000 единиц (тонн) продуктов питания, второй — 100 единиц (комплектов) одежды. У первого единица стоит 1 руб., у второго — 10 руб. Платежеспособный спрос всего населения составляет 2000 руб.

Если спрос и предложение находятся в равновесии, то оба владельца реализуют все свои товары и выручат по 1000 руб. каждый. Население реализует все свои денежные ресурсы.

Далее предположим, что у первого владельца в связи с благоприятными погодными условиями, без каких-либо дополнительных затрат, произведено 1250 единиц, а платежеспособность населения осталась на прежнем уровне. Логика вещей требует снижения цен на пищевые продук-

ты до $1 \cdot \frac{1000}{1250} = 0,8$ руб. Тогда весь продукт будет реали-

зован, а у населения повысится уровень реальной заработной платы.

Однако население может среагировать по-своему: ограничить потребление пищевых продуктов прежним объемом — 1000 единиц, а освободившиеся денежные ресурсы ($1000 \cdot 1 - 1000 \cdot 0,8 = 200$ руб.) отнести второму владельцу, стимулируя увеличение производства одежды.

Первый владелец при этом потеряет 200 руб. Следовательно, ему выгоднее уничтожить излишний продукт, чем снизить цены. Такова логика развития частной собственности, не зависящая от субъективных стремлений владельцев средств производства.

Совершенно очевидно, что в рассмотренном примере достаточно убрать перегородку, разъединяющую двух частных собственников, чтобы ликвидировать частную собственность на средства производства. Тогда для обобщественного производителя совершенно безразлично,

каким путем выданные населению деньги вернутся в государственную кассу: через продукты питания или через одежду.

В социалистическом обществе нет противостоящих друг другу частных собственников, но нет и цен, объективно складывающихся за спиной производителей и управляющих их деятельностью. Планомерное развитие социалистического хозяйства становится объективной необходимостью.

Возможность и необходимость планового развития всего народного хозяйства ставит социалистическое общество в исключительно выгодное положение по сравнению с капиталистическим. Если продолжить аналогию с регулированием числа оборотов двигателя, то социализм по сравнению с капитализмом выглядит как синхронный электрический двигатель по сравнению с двигателем внутреннего сгорания. Постоянная скорость вращения ротора предусмотрена самой конструкцией электромотора, и для ее постоянства вовсе не требуется отклонения количества оборотов от заданного числа. Так и социализм характеризуется тем, что планирование пропорционального развития общественного производства является необходимым условием его существования, внутренне присущей ему категорией.

Преимущества социализма ярко продемонстрированы всем ходом истории, практикой хозяйственного развития стран социалистического лагеря. Но вместе с тем общеизвестно, что объективно вытекающие из природы социализма преимущества используются далеко не полно. И при социализме появляется подчас необходимость в изменении темпов развития производства того или иного продукта по образовавшимся в народном хозяйстве диспропорциям. Иногда это становится заметным даже позже, чем могло бы случиться при ориентации на движение рыночных цен в условиях товарного производства.

Изучая экономику капиталистических стран, наши экономисты еще имеют возможность выяснять, как под воздействием закона стоимости складываются пропорции развития капиталистического хозяйства, в каком направлении движется технический прогресс, формируется структура производства и потребления по отдельным видам продукции (например, по топливу, химическим продуктам и т. д.), и, критически анализируя эти данные,

учитывать положительное при разработке народнохозяйственных планов. Но когда капиталистические страны останутся позади СССР, возможности учета действия в них закона стоимости будут полностью исчерпаны.

Таким образом, законы товарного производства становятся все менее полезными в развитии социалистического производства, потребительная стоимость теряет всякую связь со стоимостью. Максимальное производство потребительной стоимости становится целью производства, а возможность ее оценки в единстве со стоимостью, т. е. через товары, исключается. Поэтому проблема измерения потребительной стоимости становится при социализме одной из главных. Ее решение является исходным во всех остальных расчетах, направленных на оптимизацию функционирования социалистической экономики. Нельзя решать задачи оптимального развития производства, не имея функции цели, выраженной не только как качественная, но и как количественная определенность.

3. Потребности социалистического общества

В документе пятого совещания старших советников по экономическим вопросам правительств стран — членов ЕЭК «Меры и средства содействия техническому прогрессу» (Нью-Йорк, ООН, 1968, стр. 59) отмечается, что «большинство стран рано или поздно будут вынуждены столкнуться со все усложняющейся проблемой выбора направлений научных исследований, которые содействуют развитию их культуры, обороны, их престижу и экономике». Эти четыре направления отражают разнообразие потребностей общества. Первые три нельзя относить к экономическим, но вместе с тем их удовлетворение связано с функционированием экономики, с затратами общественного труда в материальном производстве.

В условиях социализма весь продукт производства принадлежит обществу, между общественными и личными потребностями антагонистических противоречий нет. Но при удовлетворении личных потребностей часть продукта остается общественной собственностью, а часть переходит в личную собственность.

Культурные и другие потребности социального значения (так же, как и многие экономические), удовлетворяемые, как правило, в процессе личного потребления, требуют вместе с тем создания соответствующих общественных

фондов (школ, библиотек, театров, водопроводов, электростанций, телефона и т. д.).

Потребности обороны страны удовлетворяются продуктом, принадлежащим только обществу. Его можно рассматривать как продукт и непроектируемого и производственного назначения. С одной стороны, он непосредственно (в качестве производственных фондов) в производстве не участвует, с другой — совершенно необходим для нормальной жизни общества, в том числе и производства. Как крыша над цехом позволяет при любой погоде работать на оборудовании цеха, так и средства обороны при реально возникающих международных ситуациях позволяют членам общества осуществлять производственный процесс и другие общественные функции.

Престижные потребности удовлетворяются на уровне и государственного и личного потребления. На государственном — это прежде всего научно-технический прогресс (например, освоение космоса), уровень культуры и материальной жизни народа. На личном — это стремление людей занимать более высокие посты в обществе, наилучшим образом выполнять возложенные на них функции, красиво, модно и не совсем дешево одеваться и т. д. С того момента, как потребление людей выходит за рамки физиологических потребностей воспроизводства рабочей силы, престижные соображения становятся главными в стимулировании дальнейшего непрерывного роста потребностей. Вряд ли можно найти что-нибудь удобнее ватной фуфайки в зимнее время. Однако в наши дни люди в такой одежде на улицах города встречаются очень редко. Все предпочитают носить элегантные (при этом иногда далеко не теплые) пальто.

Общество должно определять пропорции использования своих ресурсов по всем указанным направлениям. Методы определения оптимальных пропорций пока не могут быть формализованы в такой степени, чтобы можно было говорить об автоматизации процессов их реализации. Но тем не менее и в этой области формируются определенные правила поиска оптимальных решений на основе использования системы экспертных оценок, которая в принципе отражает современные методы принятия решений и их обоснования, практикуемые в условиях планомерного управления экономикой.

После определения частей ресурсов, идущих на удовлетворение потребностей по общественной и личной линиям, требуется такое распределение ресурсов внутри этих частей, при котором удовлетворение потребностей было бы максимальным. Распределение осуществляется на тех же принципах, что и определение их величины, т. е. на основе учета мнений квалифицированных специалистов — экспертов, использующих свой практический опыт и большой статистический материал, характеризующий прошлое течение процессов и перспективы на будущее. Но вместе с тем в личном потреблении каждый потребитель сам становится экспертом, когда выбирает, сообразуясь со своими ресурсами, продукт для потребления.

Поэтому практика оценки качества производственных пропорций в части производства предметов личного потребления может ориентироваться непосредственно на результаты реализации продукции. Залежи в торговой сети одних и недостача других предметов являются пока главными показателями необходимости изменения пропорций в производстве. В связи с высокой инертностью реорганизации производства дефицит в торговой сети становится затяжным. Для восстановления, например, производства лезвий к безопасным бритвам потребовались годы. Несколько лет заняло возрождение производства гречихи. Десятки лет не исчезают очереди на легковые автомобили. Некоторые пищевые продукты не первой необходимости (кетовая икра, осетрина, фисташки др.) также почти полностью и неизвестно на какой срок исчезли с прилавков магазинов.

Таким образом, при ориентации на сбыт продуктов наихудшим образом решается проблема пропорционального развития производства, совершенно не раскрывается роль цен в спросе на продукты, не учитывается связь спроса на тот или иной продукт с затратами на его производство, распределение производственных и трудовых ресурсов по отраслям не обеспечивает производство потребительского продукта в оптимальной структуре, отсутствуют и стимулы оптимизации структуры.

Короче говоря, при ориентации на сбыт проблема планомерного пропорционального распределения общественного рабочего времени по отраслям решается наихудшим образом. Такая практика применяется только потому, что нужно решать эту проблему, а никаких других путей ее

решения, никаких научно обоснованных методов измерения потребительных стоимостей пока нет.

Все эти недостатки очевидны. Поэтому предпринимаются некоторые попытки ориентации на другие показатели. Они сводятся в основном к двум направлениям: нормированию и статистическому изучению динамики спроса на товары под воздействием различных факторов.

Один из сторонников первого направления Т. Хачатуров предлагает выявить уровень развития производства, обеспечивающий избыток материальных и духовных благ для народа, переход от распределения по труду к распределению по потребностям. Он считает, что эти «потребности могут быть определены исходя из научно обоснованных норм питания, потребления предметов личного и долгосрочного пользования, жилой площади, бытового обслуживания, образования, здравоохранения и т. д.». Предполагается, что «на базе научно обоснованных норм, рассчитанных на полное удовлетворение потребностей членов коммунистического общества, и с учетом роста численности населения возможно примерно определить и объемы производства, которые должны быть достигнуты. Установление этих объемов — задача экономического прогнозирования, составления долгосрочной перспективы развития экономики» (34, 1967, 25 ноября).

Трудно, во-первых, представить «полное удовлетворение потребностей». Что же будет потом? Прекратится общественное развитие? Видимо, нет. К. Маркс, Ф. Энгельс, В. И. Ленин нигде не говорили о возможности полного удовлетворения потребностей. Наоборот, они четко и определенно говорили, что потребности всегда служили и будут служить силой, движущей развитие производства. Последнее в свою очередь воздействует на потребности: развивает их, ликвидирует одни и порождает другие. Коммунизм характеризуется не удовлетворением всех потребностей и ликвидацией стимулов дальнейшего развития производства, а распределением по потребностям, заменяющим распределение по труду.

Во-вторых, никакие научно обоснованные нормы пока еще не могут отразить вкусы людей, а потребности удовлетворения вкусовых запросов (курение, например) часто вступают в противоречие с физиологическими потребностями. Научно обоснованные нормы, учитывающие эти моменты, могут быть разработаны лишь в очень отдален-

ной перспективе. Наука еще не сделала и первых шагов в этом направлении. Вкус даже в самом узком смысле этого слова (по отношению к пищевым продуктам в частности) не имеет пока никакой количественной меры. То же относится к запаху, природа которого вообще очень мало изучена. Даже звуковые и световые эффекты воздействия на человека не имеют никакой меры (если не считать предельно допустимой их силы), хотя звук и свет изучены весьма глубоко и в качественном и в количественном отношениях.

Правда, требования вкуса могут быть отнесены к более высокому порядку по сравнению с физиологическими потребностями. Однако производство и потребление всегда конкретны. Если можно, например, вычислить, сколько пар обуви нужно населению в год, то при ее изготовлении без учета вкусов потребителя не обойтись. В противном случае одна ее часть не найдет спроса, а другой не хватит для всех.

Не отрицая поэтому полезности научно обоснованных норм для определения объемов производства продуктов, нельзя надеяться на них при оценке потребительной стоимости. Это тот случай, когда есть количественная мера процесса, но нет его качественной определенности. Еще больше усложняется проблема при отсутствии возможности удовлетворения потребностей даже в общем виде и вытекающей из этого необходимости выяснения предпочтения тех или иных материальных благ.

Из числа статистических методов можно назвать моделирование поведения потребителя с целью изучения «функции потребления, или функции предпочтения. Целевой функцией потребления принято называть такую функцию эффекта от объемов потребительских благ и услуг, приходящихся в среднем на одного потребителя в единицу времени, когда вся совокупность потребителей и каждый из них в отдельности стремятся к ее максимуму» (39, стр. 56).

В. Ф. Пугачев (35) утверждает, что максимизация целевой функции потребления возможна без определения самой функции.

Приняв для этой функции самое общее обозначение — $u(x)$, где $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ представляет собой n -мерный вектор, характеризующий потребление набора материальных благ из n видов различных продуктов; x_1, x_2 —

количество первого, второго и т. д. продуктов, потребляемых в единицу времени.

Исходя из ограничения $\sum_{i=1}^n p_i x_i = s$, где $i = 1, 2,$

$3, \dots, n$; p_i — цена i -того продукта, именуемая ценой равновесия; s — общая оценка в ценах равновесия всего продукта x ; считая, что функция $u(x)$ дифференцируема, и воспользовавшись правилом Лагранжа, В. Ф. Пугачев определил, что «частные производные целевой функции $u(x)$ при некотором значении x пропорциональны ценам равновесия, соответствующим этому x », т. е. $\frac{\partial u}{\partial x_i} = \lambda p_i$, где λ —

некоторый произвольный скалярный множитель (множитель Лагранжа).

Далее, считая функцию $u(x)$ дважды дифференцируемой, В. Ф. Пугачев берет вторые частные производные, вводит некоторую исходную структуру потребления, соответствующие ей цены равновесия и после ряда математических преобразований получает квадратичную модель изменения целевой функции потребления в зависимости от изменений x

$$\Delta u(x) = \sum_{i=1}^n \bar{p}_i \Delta x_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij} \Delta x_i \Delta x_j, \quad (19)$$

где \bar{p}_i — фактическая цена реализации i -того продукта; Δx_i — изменение количества i -того продукта, потребляемого в единицу времени; r_{ij} — элементы матрицы R , характеризующей изменения цен равновесия i -тых продуктов в зависимости от изменения объемов потребления j -тых продуктов ($j = 1, 2, \dots, n$).

Матрица R имеет вид:

$$R = \lambda \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2j} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{ij} & \dots & r_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nj} & \dots & r_{nn} \end{pmatrix}, \quad \text{где } r_{ij} = \frac{\partial p_i}{\partial x_j^0}.$$

Предполагая, что полученная квадратичная модель целевой функции потребления является достаточно хорошим ее приближением, ставится задача эмпирического нахождения первых и вторых производных $u(x)$. Указывается на возможность использования для этих целей коэффициентов эластичности по ценам и доходу, представляющих собой частное от деления изменения потребления блага на изменение дохода потребителя. Доказывая принципиальную возможность нахождения по статистическим данным всех коэффициентов квадратичной модели целевой функции потребления, В. Ф. Пугачев вводит в анализ взвешивающую функцию, предназначенную для соизмерения целевых функций потребления во времени, накладывает систему ограничений на ресурсы, с учетом всего этого формулирует экстремальную задачу и указывает пути ее решения.

Не имея принципиальных возражений против построений В. Ф. Пугачева, нельзя не отметить практических трудностей реализации модели, трудностей изучения необходимых для построения «так называемых функций спроса, т. е. функций зависимости спроса на тот или иной товар от формирующих его факторов (обычно от дохода и цены)» (39, стр. 57).

Функции спроса строятся с помощью уравнений множественной регрессии, устанавливающих связь статистических данных о спросе за истекший период со статистическими данными, характеризующими другие факторы, в той или иной мере влияющие на спрос. Введение в построенную таким образом модель новых данных, характеризующих ожидаемое изменение в планируемом периоде факторов, влияющих на спрос, позволяет вычислить возможную величину спроса на данный товар в планируемом периоде.

Однако, как известно, «спрос складывается под воздействием большого числа факторов как экономического, так и неэкономического характера. Среди них можно отметить следующие: денежные доходы населения, натуральные поступления сельскохозяйственных продуктов из колхозов и личного подсобного хозяйства, уровень и соотношение розничных цен на отдельные товары народного потребления, численность населения, его социальный, поло-возрастной и профессиональный состав, степень насыщения рынка товарами, наличие отдельных товаров у

населения, мода, потребительские привычки, национальные и бытовые особенности, природно-климатические условия и др.» (39, стр. 57). Совершенно очевидно, что не все они могут быть учтены при практическом использовании модели. Для этого еще нет достаточно мощной вычислительной техники, а многие факторы пока не имеют даже количественной оценки. Кроме того, количественно не выражена вполне очевидная связь между функциями спроса на отдельные товары.

Статистический подход позволяет изучать сложившуюся практику, стихийно сложившиеся пропорции, подчас очень далекие от оптимальных. Поэтому ориентация на полученные при статистическом изучении данные не позволяет надеяться на оптимизацию пропорций в перспективе.

А как учитывать неудовлетворенный спрос? Академик Н. П. Федоренко указывает, что необходимость его учета «пожалуй, никем не оспаривается и не нуждается в особом обосновании. Речь идет о конкретных способах количественного измерения неудовлетворенного спроса на отдельные товары. Этот вопрос в экономической литературе пока еще разработан очень слабо и практика встречается с серьезными трудностями при определении необходимой структуры товарного предложения» (38, стр. 195)..

Наконец, даже после преодоления всех трудностей построения и практического использования модели, вопрос будет решен лишь частично: в нее нельзя ввести данные о новых продуктах. Новые товары существенно влияют на изменение спроса, но о них нет никаких статистических данных.

Таким образом, моделирование поведения потребителя также не обещает ни скорого, ни удовлетворительного решения проблемы.

Каков же выход? Ведь система функционирования социалистической экономики может быть оптимальной только при наличии реальных возможностей определения с достаточной для практики точностью количественной меры потребительной стоимости всего потребительского продукта и его составных частей.

Решить эту проблему, как и любую другую задачу оптимизации управления социалистической экономикой, можно только современными методами — методами экономической кибернетики.

4. Розничные цены как средство непосредственного измерения потребительной стоимости

По законам кибернетики для управления достаточно знать лишь состояние управляемого объекта и направление его движения под тем или иным управляющим воздействием. Информация о фактическом состоянии в порядке обратной связи определяет выбор необходимого воздействия на объект и тем самым определяет его движение к заданной цели. Следовательно, прежде всего необходим комплекс датчиков, собирающих всю информацию о положении управляемого объекта. Внешние силы, вызвавшие зафиксированное датчиками положение объекта, никакого интереса при этом не представляют. Затем требуется передача информации о положении системы в управляющую часть, выработка в ней и передача на объект управляющего воздействия.

Есть ли возможность воспользоваться подобным механизмом в системе общественного производства с целью оптимизации ее функционирования?

Для ответа на этот вопрос всю систему функционирования социалистической экономики разделим прежде всего на две части: управляющую — непроизводственное потребление и управляемую — производство. Входом в первую является потребительская продукция, воздействие сил и явлений природы на изменяющиеся и растущие с развитием производства потребности и вкусы людей; выходом — трудовая и прочая деятельность. К последней относятся физическое и умственное развитие трудящихся, воспитание их детей, развлечения и т. д.

Входом во вторую часть является трудовая деятельность, вовлекающая в процессы общественного производства различные природные и производственные ресурсы; выходом — потребительская продукция.

Связь между частями опосредуется торговлей в техническом и деньгами (точнее, денежными знаками) в экономическом отношении. В системе потребления деньги являются выражением права (экономического) на получение определенной доли общественного продукта. В системе производства они свидетельствуют о количестве затраченного человеком труда в процессе производства продукта.

Предметом рассмотрения теории оптимального функционирования социалистической экономики является система производства материальных благ. Входы и выходы, связывающие ее с системой непроеизводственного потребления, подлежат первоочередному изучению.

Отнесем обе системы к разряду «черного ящика». Это позволяет абстрагироваться от сложнейших процессов преобразования входных величин в выходные и обойти самую сложную проблему связи доходов населения со спросом по каждому виду товаров.

По одному из принципов кибернетики обратная связь обязательна там, где известна лишь качественная определенность процесса, но отсутствует количественная мера. Поскольку в системе непроеизводственного потребления мы абстрагировались от механизма преобразования доходов и предложения продуктов в спрос и не знаем количественной меры процесса, постольку воспользуемся знанием лишь тенденции, не вызывающей сомнений: повышение розничной цены продукта может только сократить спрос и, наоборот, снижение розничной цены может только повысить его потребление.

В рассматриваемой системе «непроеизводственное потребление — производство» прежде всего спрос должен соответствовать предложению. Это значит, что объем производства каждого продукта должен быть равен его потреблению при данном уровне розничных цен и необходимом уровне запасов.

При фиксированных ценах изменение объема производства в соответствии со спросом — весьма длительный процесс. Но если цены изменяются, то это соотношение регулируется немедленно. Равенство спроса предложению само по себе дает большой эффект. Нет большего расточительства живого труда в обществе, чем трата времени в очередях при недостатке товаров в торговой сети. Нет более разлагающего мораль общества фактора, чем «доставание» дефицитных вещей через знакомых, «по блату», из-под полы, за взаимные услуги, ведущее в конечном счете к спекуляции. Нет большего расточительства материальных ценностей, чем их порча в связи с трудностью сбыта при данных ценах.

Регулятор в любой системе управления должен улавливать отклонения от заданных параметров и при достижении определенной величины (уставки) воздействовать

на ход процесса. В системе «непроизводительное потребление — производство» регулятором, который при возникновении недопустимых расхождений между спросом и предложением может немедленно восстанавливать соответствие по всему объему потребления и каждому виду продуктов, должна стать государственная розничная торговля. Средством такого регулирования может быть изменение розничных цен.

Вне всякой связи с издержками производства работники государственной розничной торговли должны регулировать цены так, чтобы весь ассортимент продуктов всегда был в наличии и расходовался в строгом соответствии с поступлением. Цена, устанавливающая равновесие между спросом и предложением, и окажется количественной мерой потребительной стоимости продуктов, учитывающей все воздействия на нее многочисленных факторов, но без всякого анализа самих факторов.

При социализме потребительная стоимость теряет тесную связь со стоимостью как выражением количества общественно необходимого рабочего времени на производство продукта. Рабочее время затрачивается в системе «производство», потребительные стоимости реализуются в системе «непроизводительное потребление». Единственная связь между ними — это единство единиц измерения, рубли, выражающие и количество затраченного труда на производство и величину потребительной стоимости продукта. Но процессы формирования и того и другого разделены как во времени, так и пространстве.

В данной работе нет необходимости рассматривать все принципы ценообразования. Математическое моделирование в конце концов позволит определить принципы, обеспечивающие отражение в ценах именно тех затрат, которые должны учитываться при решении задач по оптимизации технологии, производственных связей, взаимозаменяемости продуктов и т. д. Разбор же этих вопросов в данном разделе работы отвлек бы исследование от принципа «черного ящика».

Если придерживаться этого принципа, то при любом методе ценообразования на каждый продукт должна устанавливаться цена, хорошо или плохо выражающая затраты на его производство, без связи с его потребительной стоимостью. Эти цены позволяют судить об эффективности изменения технологических процессов, структу-

ры производственного потребления при производстве той или иной потребительной стоимости и любых других изменений, связанных с техникой и организацией производства. Их следовало бы назвать ценами производства, противопоставив им цены непроизводственного потребления, т. е. розничные цены.

Принципы построения тех и других цен независимы. *Цены производства* должны выражать количество рабочего времени, затраченного на производство потребительной стоимости, *розничные цены* — саму потребительную стоимость.

5. Относительная самостоятельность принципов построения розничных цен и цен производства

Предположим, что общество располагает неограниченным количеством всех известных ему предметов потребления, ничего не затрачивая на их производство. Тогда потребительная стоимость каждого предмета выражалась бы количеством продуктов, потребленным обществом за известный отрезок времени. Если бы в каждом новом периоде появлялись другие продукты и притом в количестве, полностью удовлетворяющем потребность общества, то потребительная стоимость некоторых старых продуктов уменьшалась бы.

В этих идеальных условиях потребительные стоимости всех продуктов выражались бы вполне определенным образом и в качественном и количественном отношении. Потребительная стоимость масла могла быть выражена каким-либо числом, например 10 млн. т в год. Но и в этом примере вновь появляющиеся потребительные стоимости оказывают влияние на величину старых, а не просто добавляются к ним.

Следовательно, совокупность всех потребительных стоимостей представляет собой систему, каждый элемент которой органически сочетается со всеми остальными. Мера потребительной стоимости каждого из них не отличается свойством аддитивности, т. е. потребительная стоимость некоторого набора продуктов не равна сумме потребительных стоимостей входящих в него компонентов. Потребительная стоимость каждого из продуктов зависит не только от его свойств, но и от состава множества потребительных стоимостей.

Все эти свойства проявляются еще более четко, если допустить, что при избылии продуктов и отсутствии затрат на их производство потребление в некоторой мере ограничивается: продукты оцениваются, а члены общества получают определенное количество знаков на приобретение продуктов.

Тогда потребительная стоимость продуктов будет зависеть и от соотношения оценок продуктов и от характера распределения знаков в обществе. Повышение оценок на одни продукты может повысить спрос на другие. Концентрация знаков в одной группе населения за счет другой также может внести существенные изменения в спрос на отдельные продукты и структуру потребления, сохраняя прежние границы общего объема, выраженного в ограничивающих знаках. В этом случае потребительная стоимость также имеет вполне определенную меру, выраженную не только в натуральных единицах, но и ограничивающих знаках как по отдельному продукту, так и по системе в целом.

Далее предположим, что ограничивающие потребление знаки распределяются в обществе по труду, т. е. пропорционально личному вкладу в производство общественного продукта. Это вводит в предшествующий пример новый принцип распределения. Если же выдавать знаки, ориентируясь на каким-то образом определенные индивидуальные потребности, то получим распределение по потребностям. Одного этого, конечно, недостаточно, чтобы назвать общество с таким распределением коммунистическим, но тем не менее это будет распределение по потребностям. Причем оба названные принципа могут существовать при любых оценках имеющегося в избылии продукта. Изменение оценок изменит лишь структуру потребления, но не нарушит принципов распределения.

Что же произойдет, если исключить избылие продуктов и ограничить их количество? Ограничения выражаются в том, что поступление продуктов меньше возможного их потребления за равные отрезки времени. Тогда, если ограничения даже не связаны с трудовой деятельностью людей, становится объективной необходимостью согласование ограничений на выдачу знаков с оценками продуктов. Скорость выдачи знаков должна быть синхронной движению продуктов. В противном случае либо право на получение продуктов, выраженное в ограничен-

ном количестве знаков, либо часть продуктов останутся не реализованными.

Необходимость регулирования скорости поступления продуктов в соответствии со скоростью их потребления при данных оценках очевидна не только по комплексу продуктов, но и по каждому отдельному продукту. Без этого одни продукты будут отсутствовать, другие — залеживаться, хотя потребители и имеют право на их получение.

Таким образом, скорость поступления продуктов должна быть равна скорости потребления. Только при этом поток их может двигаться без перебоев и завихрений. Однако реальная скорость поступления продуктов зависит от множества причин, воздействие на которые часто требует больших затрат времени, а скорость потребления зависит от цен, способных изменяться мгновенно. Поэтому цены и должны играть роль регулятора потока продуктов, обеспечивать синхронизацию потребления с поступлением.

Наконец, введем еще одно ограничение: поступление продуктов связано с их производством, а производство — с затратами рабочего времени, величина которых измеряется теми же знаками, что и право на потребление продуктов. Тогда все члены общества, участвующие в общественном производстве, получают документы, выраженные сейчас в денежной форме, свидетельствующие о доле в общем труде и дающие право на получение определенной части общественного продукта.

В процессе производства ведется учет затрат по видам продукции. Таким образом, каждый продукт получает определенную цену производства, а при передаче в личное потребление — розничную цену. Цены производства и розничные цены не одинаковы. Последние существенно выше, потому что, во-первых, не весь продукт, изготовленный в общественном производстве, поступает в личное потребление через розничную торговлю. Право на его потребление, во-вторых, получают не только участвующие в производстве продукта, поступающего в розничную торговлю.

Общезвестно, что социалистический принцип оплаты по труду распространяется также на лиц, занятых вне сферы материального производства. Каждый член социалистического общества должен получить для удовлетво-

рения своих личных потребностей долю материальных благ, соответствующих его трудовым затратам, независимо от того, к какой сфере общественной деятельности (материальной или нематериальной) относится его труд. Однако в затратах труда на производство продукции, в том числе и потребительской, учитываются затраты только сферы материального производства. Потребительская продукция в свою очередь — часть всего общественного продукта. Она делится на продукцию, остающуюся в собственности государства (жилье, школы, больницы, материальные резервы, средства обороны и т. д.), и на продукцию, поступающую в личную собственность членов общества.

Предположим, что в сфере материального производства в течение года затрачивается 1000 часов рабочего времени и выплачивается 1000 руб. заработной платы. 800 часов предназначается на производство потребительской продукции, а 200 — на прирост производственных фондов. Допустим, что из 800 часов потребительской продукции 200 остается в собственности государства (жилье, больницы, средства обороны и т. д.), а 600 часов реализуется среди населения через торговую сеть. Посмотрим, как распределится эта продукция среди населения.

Предположим, что в течение года всем не занятым в сфере материального производства в виде заработной платы, стипендий, пенсий и т. д. выплачивается 200 руб. Этим и определяется их доля в предметах личного потребления. Тогда вся потребительская продукция, поступающая в личную собственность членов общества, независимо от того, что на ее производство затрачено только 600 часов живого труда, или 600 руб. заработной платы, должна быть оценена в $1000 + 200 = 1200$ руб. Только при такой цене предметы личного потребления могут быть без остатка распределены среди членов общества.

С другой стороны, только при этом условии каждый рубль, полученный членами общества, будет представлять собой не просто денежный знак, а определенную долю потребительской продукции. Причем имеются в виду только те рубли, которые принимают форму денежных знаков, выдаваемых населению, а не те, которые только начисляются, а затем как подоходный налог или в иной форме отчисляются от начисленной рабочим и служащим заработной платы.

Из этого обстоятельства вытекает, что розничные цены на поступающие в личную собственность членов социалистического общества предметы должны устанавливаться лишь с учетом баланса платежеспособного спроса и предложения. При этом нет необходимости ставить их в зависимость от оптовых цен предприятий. Оптовые цены предприятий будут ниже розничных, так как в основе их (при любых принципах построения цен на средства производства) лежит себестоимость продукции. Это — объективное требование общественного учета затрат труда на производство продукции.

Поскольку баланс платежеспособного спроса и предложения является обязательным, объективным требованием распределения предметов, переходящих в личную собственность членов общества, постольку любые попытки введения единых принципов ценообразования в розничной торговле и производственной сфере повлияют на уровень оптовых цен предприятий, вызовут его отклонение вверх от себестоимости и уровня полных затрат труда на производство продуктов.

Следовательно, принципы построения цен на средства производства отличаются от принципов установления розничных цен. Они независимы друг от друга, хотя и существует математическая связь между ними. Уровень розничных цен относительно оптовых цен предприятий тем выше, чем ниже удельный вес издержек производства в общем объеме общественных издержек и ниже доля продуктов розничной торговли в общественном продукте.

6. Розничные цены как регулятор производства потребительных стоимостей

Сопоставление цен равновесия спроса и предложения с ценами производства, отклонение отношения между ними от среднего безошибочно указывают изменения пропорций в производстве потребительской продукции.

Для иллюстрации сказанного рассмотрим следующий пример. В обществе производится для реализации через розничную торговлю четыре вида благ (x_1, x_2, x_3, x_4) в количествах, с затратами и розничными ценами, указанными в табл. 10. В таблице приведены I и II варианты продукта; равноценные по затратам на производство как единицы, так и всего объема (200). Равноценны они и по

Таблица 10

Продукты	Объем производства и реализации	Затраты на производство, руб.		Розничная цена единицы, руб.	Объем реализации, руб.
		на единицу	всего		

I вариант

x_1	30 кг	1,0	30	1,5	45
x_2	15 м ³	2,0	30	5,0	75
x_3	20 шт.	5,0	100	8,0	160
x_4	80 м	0,5	40	1,5	120
Итого			200		400

II вариант

x_1	25 кг	1,0	25	2,0	50
x_2	20 м ³	2,0	40	4,0	80
x_3	18 шт.	5,0	90	10,0	180
x_4	90 м	0,5	45	1,0	90
Итого			200		400

результатам реализации (400). В то же время они различны по структуре. Каждой структуре соответствует вектор цен, уравнивающий спрос и предложение. Равноценны ли оба варианта? Если нет, то какой из них лучше и насколько?

Сравнение вариантов показывает, что хотя отношение объема реализации к объему затрат в целом и составляет в них одну и ту же величину ($400/200=2$), по отдельным продуктам это отношение в варианте I не соблюдено. Это значит, что при сложившемся в обществе соотношении между накоплением и потреблением, фондами общественного и индивидуального потребления, пенсионном обеспечении и т. д., равном $400/200=2$, продукт x_1 общество оценивает в 1,5 руб/кг, хотя издержки на его производство составляют 1 руб/кг. При соответствии производства потребности общество должно было бы платить за него в соответствии со средней общественной нормой 2 руб/кг. Следовательно, по продукту x_1 общество как производитель теряет 0,5 руб/кг, а всего $30 \cdot 0,5=15$ руб.

По продукту x_2 , наоборот, общество платит по 5 руб/м³, хотя издержки на его производство составляют

2 руб/м³ и при соответствии спроса и предложения должно было бы платить по 4 руб/м³. Следовательно, по x_2 общество как потребитель теряет по 1 руб/м³, а всего $15 \cdot 1 = 15$ руб.

При реализации самому себе собственного продукта производства потери общества как производителя и как потребителя взаимно не уничтожаются, а суммируются. Наиболее удобными в таких случаях оказываются расчеты по квадратическим отклонениям от среднего. Тогда по варианту I потери общества составят $\Pi = \{ [30(1,5 - 2 \cdot 1)]^2 + [15(5 - 2 \cdot 2)]^2 + [20(8 - 2 \cdot 5)]^2 + [80(1,5 - 2 \cdot 0,5)]^2 \}^{1/2} = 27,93$ руб.

По варианту II таких отклонений нет. Хотя оба варианта по затратам и реализации равноценны, но с учетом их потребительской стоимости продукт по варианту II оценивается 400 руб, а по варианту I — $400 - 28 = 372$ руб. Величина Π — это не что иное, как мера отклонения производства от требований потребления при данных ограничениях.

Следовательно, объем производства потребительской продукции в общем виде может быть выражен формулой

$$B = HC - \Pi = H \sum_{i=1}^n x_i c_i - \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 (p_i - c_i H)^2}, \quad (20)$$

где H — отношение общего объема реализации, выраженного в розничных ценах, к общему объему затрат, выраженных в ценах производства, $H = \frac{\sum_{i=1}^n p_i x_i}{\sum_{i=1}^n c_i x_i}$; C —

общий объем затрат, выраженный в ценах производства; Π — потери от несоответствия производства требованиям потребления; n — количество видов благ в составе потребительского продукта; i — порядковый номер вида продукта ($i = 1, 2, \dots, n$); x_i — объем i -того продукта в натуральных единицах; c_i — цена производства i -того продукта; p_i — розничная цена i -того продукта.

Из формулы видно, во-первых, что $B = \max$ при $\Pi = 0$, т. е. тогда, когда все $p_i = c_i H$; во-вторых, чем выше розничная цена по отношению к цене производства ($p_i - c_i H$),

тем предпочтительнее развитие производства i -того продукта; в-третьих, снижение розничной цены какого-нибудь продукта до 0 исключает его из объема производства даже в том случае, если он фактически произведен.

Таким образом, розничные цены, будучи средством регулирования потребления, превращаются в регулятор производства. При $p_i/c_i < H$ производство продукта должно сокращаться, при $p_i/c_i > H$ — увеличиваться.

Поскольку во всяком новом периоде времени затраты на производство единицы продукции изменяются (в связи с ростом производительности труда, в частности, они обычно уменьшаются) и структура продукта улучшается, повышение эффективности производства выражается в увеличении его объема как за счет роста производительности труда, так и улучшения структуры продукта. В первом случае, как известно, для определения роста объема производства используются цены предшествующего периода, во втором в соответствии с формулой (20) — текущие цены. В результате к обычному недостатку измерения роста объема производства в сравнимых ценах, состоящему в том, что расчет оказывается более или менее достоверным только по сравнимой продукции, добавляется еще тот недостаток, что рост объема производства должен учитываться как в ценах предшествующего, так и в текущих ценах расчетного периодов.

Поэтому целесообразно вместо практикуемого сейчас метода оценки роста объема производства в сравнимых ценах принять иной метод, вытекающий из приведенных выше расчетов В. Ф. Пугачева.

Определение эффективности производства по просту целевой функции потребления $\Delta u(x)$ исключает необходимость измерения абсолютной величины самой функции: вместо измерения объемов производства в сравниваемых периодах достаточно измерить величину прироста объема.

В уравнении В. Ф. Пугачева (19) второе слагаемое правой части квадратичной модели целевой функции потребления может быть записано в следующем виде:

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \Delta x_i \sum_{j=1}^n r_{ij} \Delta x_j.$$

Выражение $\sum_{j=1}^n r_{ij} \Delta x_j$ позволяет определять изменение цены i -того продукта в зависимости от изменения объемов производства n видов благ. Если обозначить это изменение через Δp_i , то формула (19) получит вид

$$\Delta u(x) = \sum_{i=1}^n \bar{p}_i \Delta x_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \Delta x_i \Delta p_i,$$

откуда
$$\Delta u(x) = \sum_{i=1}^n \left(\bar{p}_i + \frac{1}{2} \Delta p_i \right) \Delta x_i.$$

Учитывая, что $\bar{p}_i + \frac{1}{2} \Delta p_i$ — средняя арифметическая величина старой (\bar{p}_i) и новой ($\bar{p}_i + \Delta p_i$) цены, получим

$$\Delta u(x) = \sum_{i=1}^n \hat{p}_i \Delta x_i, \quad (21)$$

где \hat{p}_i — средняя цена i -того продукта.

Таким образом, изменение целевой функции потребления равно сумме изменений объемов потребления каждого из продуктов, умноженных на их средние цены равновесия (розничные цены).

При оценке эффективности варианта II относительно варианта I (табл. 10) по формуле (21) получим $\Delta u(x) =$
 $= \frac{1,5 + 2}{2} (25 - 30) + \frac{5 + 4}{2} (20 - 15) + \frac{8 + 10}{2} (18 - 20) +$
 $+ \frac{1,5 + 1}{2} (90 - 80) = 8,25$ руб.

По формуле (21), так же, как и по формуле (20), равные по объему (в розничных ценах) и затратам на производство наборы продуктов получают наибольшее значение функции потребления, если по каждому продукту, составляющему набор, отношение розничной цены к затратам равно отношению всего объема ко всем затратам, т. е. $\Delta u(x) = \max$, если все $p_i/c_i = H^*$.

* Математическое доказательство выполнено Ю. М. Ясинским. «Доклады Академии наук БССР», 1970, т. XIV, № 9, стр. 794—797.

Следовательно, при использовании формулы (21) для соизмерения объемов потребительских продуктов, произведенных за различные отрезки времени, появляется возможность учитывать объем и структуру продукта в одних и тех же ценах.

Преимущество формулы (21) при оценке изменений объема производства продукции по сравнению с практикуемой сейчас оценкой в неизменных ценах заключается в том, что она включает в расчет всю номенклатуру, которая при этом оказывается соизмеримой. При обычном же способе оценки достоверным может быть расчет только по сравнимой номенклатуре продукции. Это позволяет рекомендовать формулу (21) не только для измерения прироста функции потребления, но и учета роста объема производства продукции, предназначенной для производственного потребления. Тем более что включение в объем производства новой продукции по ценам первых образцов при нынешнем методе счета существенно завышает (особенно в машиностроении) действительные темпы роста объема производства.

Установление цен на уровне соответствия спроса и предложения позволяет точно определить направление развития и в порядке обратной связи воздействовать на производство.

Остается неизвестной количественная сторона: насколько нужно изменить производство продукта x_i в зависимости от p_i/c_i ? Ответить на этот вопрос трудно, но он не имеет столь существенного значения, как определение самого направления. Можно принять, например, линейную зависимость, т. е.

$$x'_i = x_i \frac{p_i}{Hc_i}, \quad (22)$$

где x'_i — новый объем производства, определяемый в зависимости от соотношения p_i/c_i .

Если же эта зависимость окажется недостаточной или завышенной (т. е. x'_i еще не обеспечивает $p'_i/c'_i = H$), то это в порядке обратной связи опять раскроется через отношение новой розничной цены к новой цене производства, а управляющее воздействие снова будет направлено на преодоление отклонения. Увеличение производства новых видов благ, возможно, потребует более высоких или

низких темпов, чем рассчитанные при линейной зависимости, но они могут быть определены только в результате изучения реального хода процесса. Более точная мера будет способствовать более быстрому выходу на оптимальную структуру продукта, но не внесет чего-либо нового в саму тенденцию.

Кроме того, заметим, что анализ модели расширенного воспроизводства общественного продукта (8, гл. II) свидетельствует о целесообразности включения в цены производства капитальных вложений, обеспечивающих прирост объема производства данной продукции. Использование таких цен позволяет определять наиболее эффективный с народнохозяйственной точки зрения технологический вариант.

Поэтому если под затратами на производство (С) подразумевать и капитальные вложения на наращивание мощностей, то любую структуру потребительского продукта можно превратить в оптимальную немедленно, лишь в результате распределения капитальных вложений по отраслям. При этом на продукцию с более высоким (по отношению к текущим затратам) уровнем розничных цен придется капитальных затрат относительно больше, чем на продукцию с более низким уровнем розничных цен.

В результате вся проблема сводится не к выяснению темпов развития производства в отраслях, обеспечивающих оптимизацию структуры потребительского продукта, а к распределению по отраслям капитальных вложений * в зависимости от уровня цен, что не составляет большой сложности. Изменение объемов производства при этом становится функцией распределения капитальных вложений и осуществляется как бы автоматически.

В табл. 11 иллюстрируется распределение капитальных вложений в зависимости от уровня розничных цен. В ней представлено то же исходное состояние, что и в табл. 10, но вводится новое условие: общие затраты на развитие всех отраслей составляют 100 руб. Эта сумма распределяется между отраслями так, чтобы существующая структура производства стала оптимальной. Для этого необходимо, чтобы цены производства продукции,

* Речь идет о полных капитальных вложениях, учитывающих все смежные отрасли.

Продукты	Производство при ресурсах 200 руб.			Реализация при ресурсах 400 руб		Расширение производства при вложении на его развитие 100 руб.						
	объем	затраты, руб		розничная цена единицы, руб	объем реализации, руб	цена производства единицы, руб. (р. 5 × 2/3)	вложения, руб.			на единицу прироста*	прирост продукции (р. 9 : р. 10)	новый объем производства (р. 2 + р. 11)
		на единицу	на объем (р. 2 × р. 3)				на единицу продукции (р. 7 - р. 3)	на объем производства (р. 8 × р. 2)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
x_1	30 кг	1,0	30	1,5	45	1,125	0,125	3,75	8	0,5 кг	30,5 кг	
x_2	15 м ³	2,0	30	5,0	75	3,750	1,750	26,25	6	4,4 м ³	19,4 м ³	
x_3	20 шт.	5,0	100	8,0	160	6,000	1,000	20,00	10	2,0 шт.	22,0 шт.	
x_4	80 м	0,5	40	1,5	120	1,125	0,625	50,00	12	4,2 м	84,2 м	
			200		400			100				

* Имеются в виду полные капитальные вложения на единицу прироста (с учетом всех смежных отраслей).

включающие капитальные затраты (гр. 8), по всем продуктам равнялись их розничным ценам (гр. 5), умноженным на коэффициент $\frac{3}{4}$, представляющий собой отношение всех затрат (текущих 200 руб. и капитальных 100 руб.) к общему объему реализации, выраженному в розничных ценах (400 руб.).

В результате такой оптимизации отрасли с более высоким (относительно текущих затрат на производство) уровнем розничных цен на продукцию и более низким уровнем капитальных вложений на прирост единицы продукции достигают наиболее высоких темпов роста объема производства, что обеспечивает оптимизацию всей структуры общественного продукта.

Одним из существенных факторов, усложняющих этот процесс, является фактор времени. Капитальные вложения дают прирост продукции не сразу, а после их освоения и ввода в строй производственных мощностей. Цены равновесия, определившие капитальные вложения, к моменту ввода производственных мощностей могут значительно измениться. Поэтому в процессе распределения капитальных вложений возможно изменение принятых ранее решений, влекущее за собой опасность замораживания прежних затрат и необходимость принятия новых решений о дальнейшем эффективном использовании их результатов.

7. О функциях розничной торговли

В настоящее время государственная розничная торговля рассматривается как средство доведения государственных продуктов до потребителей. Поэтому функции ее ограничиваются производственными операциями, связанными с доведением продуктов до потребителей, и операциями обращения (ведение учета, реклама и т. д.).

Однако, как уже указывалось, роль розничной торговли не должна ограничиваться только этими функциями. На нее необходимо возложить, гораздо более важные функции регулятора производства и потребления потребительской продукции.

Для этого требуется:

1. Полностью передать работникам государственной розничной торговли формирование цен на все реализуемые ими продукты.

2. Четко информировать торговые организации об объеме и структуре поставок в их сеть продуктов за определенный промежуток времени и о ценах производства этих продуктов.

3. Обязать торговые организации обеспечить путем построения розничных цен такое состояние, при котором:

а) на протяжении всего времени в сети розничной торговли были бы в наличии все виды продуктов, поставляемых промышленностью;

б) количество реализованных продуктов с учетом необходимых изменений запасов равнялось бы поставкам продуктов за тот же период;

в) выручка, т. е. разница между всей суммой реализации и объемом затрат на производство (в ценах производства) и реализацию продукции, была бы максимальной. Это должно достигаться перераспределением продуктов в торговой сети и подвижностью цен, направленной на обеспечение оптимального сочетания поставок продуктов с закономерностями (сезонностью) спроса на них и вытекающим из этого движением запасов.

4. Обязать торговые организации информировать плановые органы об ожидаемых в планируемом периоде ценах равновесия, определяемых методами экстраполяции, экспертной оценки или другими методами прогнозирования. На худой конец можно ограничиться информацией о фактических ценах равновесия на начало планируемого периода.

Для большей наглядности и выяснения функций торговли изобразим процесс производства и распределения материальных благ в виде гидравлической системы, приведенной на рис. 17.

Пусть сосуд А — сфера потребления, Б — сфера производства. Жидкость Х (труд) подается в Б из А насосом Н по трубе I, где под воздействием различных процессов превращается во множество жидкостей X_1, X_2, \dots, X_n , отличающихся как от исходной, так и одна от другой. На каждую из них расходуется вполне определенное количество жидкости Х. Все жидкости (каждая по своей трубе) поступают в промежуточные резервуары, из них возвращаются в сосуд А и смешиваются, снова образуя жидкость Х.

На рис. 17 изображен лишь один поток полученной в резервуаре Б жидкости X_1 . Он движется по трубе II в

промежуточный резервуар В, из которого по трубе III через клапан Р поступает в резервуар А.

Из схемы видно, что система может устойчиво функционировать лишь в том случае, если по трубам II и III за одинаковые отрезки времени протекает одинаковое количество жидкости, а емкость резервуара В достаточна для того, чтобы компенсировать временные различия в

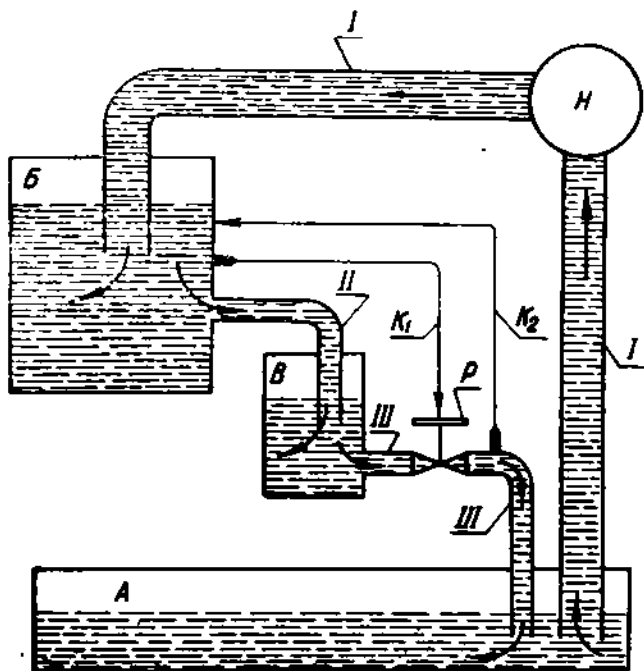


Рис. 17. Физическая модель регулирования производства потребительских продуктов

скоростях движения жидкости в трубах II и III. В противном случае резервуар В переполнится, и жидкость будет вытекать из системы либо оборвется поток в трубе III. Резервуар В может также играть роль поплавковой камеры, характеризующейся тем, что в зависимости от уровня жидкости и соответствующего ему положения поплавка в камере клапаны, регулирующие приток или отток жидкости, автоматически открываются или перекрываются.

В рассматриваемой схеме скорость движения всей жидкости определяется насосом Н. Поэтому в резервуар А должно поступать по трубе III жидкости столько же,

сколько насос гонит по трубе I. В трубу III может поступить через резервуар B только то количество жидкости данного качества, которое будет выработано в резервуаре B. Следовательно, равновесие потоков можно установить только вентилем P. Он должен быть открыт так, чтобы через него протекало столько жидкости, сколько ее вырабатывается в резервуаре B. Для этого необходимо у вентиля P поставить регулировщика. Получая по каналу K_1 информацию о поступлении жидкости из трубы II, он мог бы определять скорость движения жидкости в трубе III, сравнивать ее с показаниями счетчика фактической скорости движения и поворачивал бы вентиль так, чтобы получить требуемый результат.

Если у всех вентилях общей системы поставить регулировщиков и обеспечить их нужной информацией, то система была бы довольно быстро отрегулирована, оказалась бы весьма устойчивой при изменениях скорости движения жидкостей под воздействием насоса H и под влиянием процессов, происходящих в сосуде B.

Далее предположим, что по трубам III должно течь вполне определенное количество жидкости, связанное с требованиями сосуда A (потребление) и представляющее собой заранее заданную долю протекающей по системе жидкости. Функционирование системы в этих условиях несколько усложнится. После регулировки вентиля P по данным о поступлении жидкости в сосуд B по трубам II потребуются сравнить скорость течения в трубе III с заданной. Результат передается по каналу связи K_2 в сосуд B. Технологический процесс в этом сосуде перестраивается в соответствии с информацией, поступившей от множества устройств измерения скорости движения жидкости в трубах III. В зависимости от возможностей реализации требований сосуда A по каналу связи K_2 сообщаются новые данные о количестве жидкостей x_1, x_2, \dots, x_n , поступающих в резервуары B по трубам II, осуществляется регулировка вентилей P, а в резервуар B передается новая информация об отклонениях скорости движения жидкости в трубах III от требуемых потребителем A.

Этот процесс повторяется до установления в трубах III заданной скорости движения жидкостей. При этом изменение любых параметров (требования потребителя A, нарушения регулировки P, скорость подачи жидкости

насосом Н, технологические выходы в Б) не выведет систему из равновесия.

Возвращаясь к системе «непроизводительное потребление — производство», установим, что в рассмотренной гидравлической системе роль непроизводительного потребления играет сосуд А, производства — насос Н и сосуд Б, торговли — трубы П, розничных цен — вентили Р. Сосуды В — промежуточные склады, принадлежащие производству на выходе или торговле на входе, что не имеет существенного значения.

В подобном варианте система действует следующим образом. Потребление предъявляет требования к количеству и структуре потребительского продукта. Посредством розничных цен торговля устанавливает равновесие спроса и предложения по каждому продукту, информируя тем самым о необходимости изменения структуры производства в зависимости от соотношений между розничными ценами и ценами производства продуктов.

Функции между торговлей и производством распределены совершенно четко. Первая регулирует потребление в соответствии с производством и информирует производство о ценах равновесия. Второе производит продукцию, *структура* которой изменяется в соответствии с распределением капитальных вложений по отраслям, определяемым уровнем складывающихся в торговле розничных цен, а *объем* — в соответствии с изменениями общих ресурсов и эффективности их использования. Производство информирует также торговлю о поставках продукции в натуральных показателях и о затратах на ее производство, выраженных в ценах производства.

8. Реальность выполнения торговлей функций регулятора производства потребительской продукции

Может ли торговля справиться с той задачей, которая возлагается на нее в только что рассмотренной системе?

В реальных условиях сложность системы определяется большим количеством видов продукции, точек ее реализации, территориальным размещением производства и потребления. Если вернуться к системе сосудов (рис. 17), то эта сложность выразится в расчленении сосуда Б на большое количество сосудов и разветвлении труб П и III

по множеству направлений, т. е. получится весьма сложная система сосудов и труб. Тем не менее принципы регулирования остаются такими же.

В каждой торговой точке тоже есть регулятор потока потребления (розничная цена реализуемого продукта), приводящий его в соответствие с производством. По-видимому, этот регулятор должен приводиться в действие не в торговых точках, а на более высоких уровнях распределения продуктов по торговой сети.

Эти уровни могут быть в принципе любыми. Выбор их оптимального значения — дело времени, практической работы, обобщения и изучения опыта. Но даже при самом неудачном построении регулятора он будет действовать безотказно, так как ни один продукт не реализуется без розничной цены и не остается без оценки затрат на его производство.

Поскольку эти показатели всегда имеются, механизм регулировки не может не действовать. При неудачном выборе уровней регулирования этот механизм может действовать в противоположных направлениях в различных звеньях и относительно одних и тех же продуктов. Но такое его действие может быть сведено к общему показателю на любой более высокой степени обобщения перераспределением продуктов между низовыми звеньями.

Следовательно, непреодолимых затруднений для применения этого метода регулирования производства в рамках всего народного хозяйства нет.

Но есть другие обстоятельства, вытекающие из недостаточного совершенства человека. Трудности учета выручки от реализации продуктов могут способствовать хищениям. В среде потребителей может появиться стремление (и содействие со стороны осведомленных лиц) к тому, чтобы сделать запасы продуктов, на которые якобы ожидается повышение и, наоборот, воздержаться от покупки тех, по которым ожидается снижение цен.

С уверенностью можно сказать, что эти недостатки будут устранены при автоматизации учета, анализа и регулирования розничных цен. Автоматизация позволит, во-первых, в любой момент фиксировать в действующих ценах (как бы часто они ни менялись) количество реализованной продукции, остатки на складах, прилавках магазинов и т. д. Момент изменения цен, во-вторых, определяется в автоматизированной системе на основе алгорит-

ма переработки информации и огромного количества данных. Никто не может заранее предвидеть результаты анализа, проводимого автоматизированной системой, значит, исключается и возможность выигрыша от этого отдельных осведомленных лиц.

А как же быть сейчас, когда еще нет автоматизированной системы регулирования производства через розничные цены? Ответить на этот вопрос трудно. Нужен эксперимент. Многое зависит от того, насколько устойчивыми окажутся цены после приведения системы «непроизводственное потребление — производство» в нормальное состояние, в какую сторону вообще будут двигаться розничные цены. Если они снизятся, это будет рассматриваться как рост эффективности общественного производства, если двинутся вверх, то это будет свидетельствовать об опережении роста номинальной заработной платы относительно реальной. В условиях устойчивого уровня реальной и номинальной заработной платы повышение одних цен обязательно связано со снижением других и преследует цель лишь оптимизации структуры потребления, в чем прежде всего заинтересован потребитель.

Многие продукты непроизводственного потребления (жилье, школы, больницы и т. д.) вообще не поступают в розничную торговлю. Значителен удельный вес продуктов, которые крайне необходимы людям (хлеб, молоко), и на их поток розничные цены не могут оказать существенного влияния. То же можно сказать об услугах городского транспорта. Даже отмена платы за проезд вряд ли увеличит поток его пассажиров, поскольку проезд в переполненном, например, автобусе, не является потребностью человека: часто только необходимость заставляет втискиваться в битком набитые автобусы, троллейбусы или трамваи.

Поэтому вполне возможно, что подвижность цен проявится в довольно ограниченной области, коснется главным образом тех продуктов, которые не являются предметами первой необходимости и удовлетворяют главным образом эстетические запросы, а также продуктов низкого качества, не имеющих спроса. Все это может существенно упростить действие описанного выше регулятора.

Переход к регулированию можно начать с создания специальных магазинов, в которых должны быть все продукты повышенного спроса не первой необходимости. На-

личие продуктов обеспечивается прежде всего достаточно высокими ценами. Создание таких магазинов позволит изучать спрос и возможности потребителей; выяснять, по каким ценам возможна реализация продукции повышенного спроса; полученные выводы распространять на всю торговую сеть; преодолеть спекуляцию и близкую к ней систему услуг по «доставанию» дефицитных продуктов; повысить выручку.

Трудно объяснить, почему, например, часть легковых автомобилей (продукт далеко не первой необходимости) не продается по цене, которую желает и может заплатить потребитель. Пусть, на худой конец, остается и существующая система распределения автомобилей — через советские органы и общественные организации. Но некоторую часть автомобилей стоило бы продавать и по той цене, которую может заплатить покупатель. Это позволит узнать и возможную цену реализации, и меру одолжения тем, кто покупает автомобиль по решению общественности, и те слои населения, которые могут купить его за весьма высокую цену.

Автомобиль — продукт крупный. Он у всех на виду. Но превышение спроса над предложением наблюдается не только по автомобилям, но и по мелким изделиям, к распределению которых невозможно привлечь общественные организации. При реализации через специализированные магазины любая мелочь, как и автомобиль, получает конкретную оценку (розничную цену), единственная задача которой — уравновесить спрос и предложение (в данном случае не вообще, а через специализированный магазин).

В таких специализированных магазинах уже сейчас возможна и автоматизация информационных процессов как по учету реализации, так и образованию цен. Но и без этого даже ограниченная сеть таких магазинов окажет определенное регулирующее воздействие на оптимизацию структуры потребительского продукта.

В этих же магазинах возможна реализация залежалых товаров. Их уценка обычно рассматривается как потеря. Но судить о потерях по существу можно лишь при сравнении цен реализации с ценами производства. Если соотношение между ними после уценки остается выше среднего общественного, то, несмотря на уценку, поставки продукта должны не сокращаться, а увеличиваться.

Наконец, о стимулировании через розничные цены потребления одних продуктов и ограничения других. Прежде всего при всех условиях между спросом и предложением должно быть полное соответствие. Следовательно, стимулирующая роль розничных цен (если за ними оставлять только такую роль, считая, что детская одежда, например, должна быть относительно дешевле, чем спиртные напитки) должна выражаться в регулировании производства. Можно по отдельным продуктам установить отношение между розничной ценой и ценой производства более низкое (стимулируя потребление) или более высокое (ограничивая потребление), чем среднее. При этом стимулирующий фактор получает количественную меру.

Однако нужно помнить, что дифференцирование регулирования производства продуктов влечет за собой некоторое снижение значения функции потребления.

Несколько иначе может стоять вопрос о стимулировании приложения домашнего труда в общественном производстве. Учитывая, что в принципе работа в общественном производстве производительнее, чем, например, при приготовлении пищи в домашних условиях, вполне целесообразным может оказаться отпуск обедов в столовых по ценам, очень близким к ценам производства.

В настоящее время основные усилия по созданию автоматизированных систем управления концентрируются в сфере производства. Начаты работы по автоматизации информационных процессов и в розничной торговле. Но решение проблемы оптимизации структуры потребительского продукта, составляющей одну из важнейших частей проблемы оптимального функционирования социалистической экономики, не предусматривается. Некоторые шаги в этом направлении были бы сейчас своевременными. Следовало хотя бы для одного магазина с довольно широкой номенклатурой реализуемых продуктов разработать автоматизированную систему оперативного учета движения товаров и образования розничных цен.

9. Труд и отдых

Оптимальное функционирование социалистической экономики требует определения оптимального распределения календарного времени между периодами труда и отдыха. Сложность решения этой проблемы заключается

в том, что здесь более важными являются различные факторы неэкономического характера. С точки зрения экономической время труда можно рассматривать как потребительную стоимость, но с противоположным знаком по отношению ко всем остальным потребительным стоимостям. Ведь труд — это то, что каждый трудящийся отдает производству, а все остальное — это то, что он получает в собственное распоряжение.

Учитывая, что труд, как и все потребительные стоимости, оплачивается в денежной форме и что между количеством затрачиваемого общественного рабочего времени и количеством потребительных стоимостей, выраженных в продуктах, существует прямая связь, можно позволить каждому трудящемуся самому определять оптимальное соотношение между периодами труда и отдыха, а по поведению всей массы трудящихся определить оптимальное соотношение и для общества. С этой точки зрения, грубо говоря, можно снять всю регламентацию рабочего времени и дать возможность каждому определить наиболее устраивающее его лично соотношение между временем отдыха и количеством получаемых им материальных благ в обмен на затраченное рабочее время.

Рассматривая свободное время как благо, В. Ф. Пугачев предлагает включать его в состав продукта потребления: «Среди благ, охватываемых целевой функцией потребления, может содержаться и свободное время членов общества. В связи с этим, максимизируя целевую функцию потребления, можно одновременно стремиться к экономии общественного труда» (35, стр. 42).

Таким образом, с экономической точки зрения труд как источник создания всех благ (или свободное от труда время как благо) находят место в оптимальной структуре всего потребительского продукта.

Однако между трудом и продуктами труда есть существенные различия.

1. Труд по отношению к остальным благам, как уже указывалось, может учитываться лишь с обратным знаком. Эта противоположность определяется не отношением к труду. Труд на определенной стадии развития общества превращается в первую потребность здорового организма.

При этом нужно иметь в виду, что речь идет о труде в общественном производстве материальных благ. Труд как

целесообразная деятельность вообще, независимо от сферы его приложения, всегда является потребностью человека. Если только человек не спит, то состояние покоя, в особенности мозговой деятельности, для него просто невысказано.

Поэтому точнее было бы вести речь об оптимальном соотношении времени, затрачиваемом в общественном производстве и расходуемом вне его по собственному усмотрению трудящегося. Противоположность труда всем остальным благам выражается в том, что труд является входом в систему общественного производства, определяющим входы и всех прочих предметов производственного потребления. Потребительские же продукты — это выходы из системы общественного производства. Труд и продукты можно поменять местами при рассмотрении системы общественного потребления.

2. Все индивидуальные трудовые процессы должны быть слиты в единый процесс общественного производства, требующий строгой регламентации времени и интенсивности труда. К непроизводительному потреблению такие требования не предъявляются. Этим исключается возможность определения каждым работником оптимального для себя времени труда.

3. Потоки трудовой деятельности и потребительских продуктов всегда движутся в противоположных направлениях. Движение потребительских продуктов по каналам, в ряде случаев не связанным с трудовой деятельностью (пенсии, стипендии и т. д.), различное количество иждивенцев, приходящееся на одного работающего, нарушают взаимодействие между потоками трудовой деятельности и потребительских продуктов. Может сложиться такое положение, при котором одни члены общества будут полностью отказываться от отдыха, другие — от труда.

Поэтому регламентирование длительности рабочего времени в сутках, числа выходных дней в неделе, продолжительности отпуска в году, периода обязательного обучения в школах, пенсионного возраста, срока отбывания воинской повинности оказывается необходимым. Причем это регламентирование зависит не столько от экономических, сколько от политических, организационных, социальных, физиологических и других факторов. Эти вопросы могут решаться и решаются самостоятельно,

хотя и с учетом связи с системой оптимального функционирования социалистической экономики.

Следовательно, при рассмотрении проблем оптимального функционирования социалистической экономики принятый регламент времени труда должен приниматься как заданный, как внешнее ограничение функционирования системы.

Возможно, что при коммунизме, когда труд в общественном производстве станет интересным и содержательным, превратится в важнейшую потребность организма, будет выполняться без расчета на вознаграждение и приобретет все другие качества коммунистического труда, потребность трудиться станет наиболее острой. Тогда не свободное время, а время труда будет рассматриваться как благо.

10. Потребление и накопление

Чем большая доля общественного труда затрачивается на расширение производства, тем меньше при прочих равных условиях производится потребительских продуктов и стремительнее темпы роста производства. Максимальное удовлетворение растущих потребностей требует увеличения объема, повышения темпов расширения производства потребительских продуктов сегодня, чтобы поднять уровень удовлетворения потребностей завтра. Очевидно, что уровень удовлетворения потребностей сегодня вступает в противоречие со скоростью роста производства потребительских продуктов, а стало быть, и с уровнем удовлетворения потребностей завтра.

Как уже упоминалось, рост потребностей людей безграничен. Следовательно, целью производства является не просто некоторый конечный уровень потребления, а максимальная скорость роста потребления, т. е. вполне определенное сочетание между уровнем потребления и темпами развития производства.

В каждой точке времени производство материальных благ ограничивается производственными мощностями, запасами сырья, природными, трудовыми ресурсами и т. д. Оптимальный план предусматривает максимальный выпуск продукции при наилучшем и наиболее полном использовании всех ресурсов в рамках существующих ограничений.

Но с течением времени рамки ограничений могут быть раздвинуты, если нацелить на это трудовую деятельность людей. Поэтому ограничиваются в конечном счете только трудовые ресурсы. Расширение рамок, ограничивающих трудовые ресурсы (прирост населения, пенсионный возраст, сроки обучения, продолжительность рабочего дня и т. д.), связано с производством лишь косвенно. Все остальные ограничения преодолеваются непосредственно в процессе производства.

Поэтому определение доли ресурсов, используемой на расширение рамок ограничений, нахождение оптимальных затрат на развитие производства с целью повышения уровня удовлетворения растущих непроектных потребностей общества является одной из важнейших и, пожалуй, наиболее сложной проблемой оптимального функционирования социалистической экономики. При решении ее будет найдена оптимальная величина ущерба непроектному потреблению сегодня (капитальные вложения, сроки обучения и т. д.) во имя более высокого уровня потребления завтра.

11. Общая тенденция преимущественного роста производства средств производства

Человек выделился из животного мира потому, что стал производить орудия труда. Ни одно животное, даже самое изворотливое в использовании окружающей среды, не создает средств воздействия на природу и пользуется только тем, чем она его наградила. Это значит, что формирование самого человека связано с направлением некоторой части его энергии и рабочего времени на производство не продуктов потребления, а орудий труда. Получая с помощью этих средств все большую власть над природой, человек все в большей мере удовлетворяет свои потребности, растущие одновременно с развитием производства.

Доля затраты рабочего времени на изготовление орудий труда по мере развития общества постепенно возрастает в сравнении с долей, затрачиваемой непосредственно на производство потребительской продукции. Но объем последней, несмотря на это и в результате этого, непрерывно увеличивается за счет роста производительности труда. Постоянный рост доли общественного рабо-

чего времени в производстве средств производства и составляет сущность закона преимущественного развития производства средств производства.

Этот закон является следствием и движущей силой процесса расширенного воспроизводства общественного продукта. Простого воспроизводства, как известно, не бывает. Оно не может быть простым даже при возмещении только физического износа: период, протекающий между вводом основных фондов и их выбытием, вполне достаточен для того, чтобы новые элементы основных фондов в связи с техническим прогрессом были эффективнее, чем те, которые ими замещаются. Эффективность проявляется как в росте выпуска продукции, так и в высвобождении рабочей силы и других ресурсов.

Неодинаковая в различных отраслях эффективность технического прогресса и необходимость пропорционального развития производства и полного использования ресурсов (прежде всего трудовых) требуют производства не только технически новых элементов основных производственных фондов, но и тех, которых технический прогресс коснулся в меньшей мере, но они нужны для соблюдения необходимых пропорций.

Все создающиеся под воздействием технического прогресса или по другим причинам (рост населения, социальные преобразования и т. д.) ресурсы труда так или иначе, сразу или постепенно вовлекаются в общественное производство. Таким образом, технический прогресс требует, чтобы производство элементов основных производственных фондов превышало их выбытие. Это в свою очередь вызывает дополнительное выбытие морально износившихся основных фондов, что еще больше способствует ускорению развития производства средств производства.

С точки зрения кибернетики здесь налицо положительная обратная связь. Поэтому независимо от нашей воли и сознания часть ресурсов общественного труда, занятая в производстве средств производства (точнее — в производстве элементов производственных фондов), растет быстрее, чем в производстве потребительской продукции, и в значительной мере за счет ресурсов общественного труда последнего.

Для экономистов логика этого вопроса обычно недостаточно убедительна. Для подтверждения закономерностей необходимы фактические данные. Какими же по-

казателями можно охарактеризовать преимущественный рост производства средств производства?

Конечным продуктом I подразделения являются основные и оборотные производственные фонды, II — предметы непроектованного назначения.

Даже беглый взгляд на развитие общества в историческом плане позволяет заметить, что в современных условиях производством средств производства занято ресурсов общественного труда значительно больше, чем в древние времена. Постоянно растет за счет сельского населения число городских жителей. В сельское хозяйство и на предприятия по переработке его продуктов непрерывно поступает новая техника, освобождая тем самым рабочую силу. Остановился ли этот процесс сегодня? Что будет дальше?

Наиболее распространено у нас мнение о том, что преимущественный рост I подразделения выражается в более высоких темпах развития в промышленности группы «А» относительно группы «Б». Однако в последнее время планирующим органом становится все труднее сохранять прежнее соотношение в темпах роста этих групп. Группа «Б» не только догоняет, но и перегоняет группу «А». Многие экономистов волнуют вопросы: не нарушаются ли объективно необходимые пропорции? Действует ли на современном этапе закон преимущественного развития производства средств производства?

В одном из номеров «Экономической газеты» указывалось, например, что «...в СССР неуклонно и быстро растет продукция обеих групп промышленности, но продукция группы «А» растет быстрее. Это связано с действием объективного экономического закона преимущественного, то есть более быстрого роста производства средств производства... За последние годы... сложились условия, позволяющие развивать группу «Б» (в процентном выражении) быстрее, чем группу «А» (43, 1969, № 7, стр. 15). Приведенные в этой статье плановые данные исключают какую-либо надежду на объективный характер действия закона, названного объективным. И в других литературных источниках встречаются различные толкования по данному вопросу, вызванные озабоченностью об объективности действия названного закона.

Между тем, по показателям планирования и учета темпов роста групп «А» и «Б» нельзя судить о соотноше-

нии темпов развития подразделений не только в сфере материального производства, взятой в целом, но и в промышленном производстве.

Когда К. Маркс и В. И. Ленин анализировали темпы роста I (производство средств производства) и II (производство потребительской продукции) подразделений, то в их расчетах фигурировало v , т. е. заработная плата, выплачиваемая в подразделениях, а стало быть — количество общественного труда, оплаченного заработной платой. Переходя к рассмотрению расширенного воспроизводства, К. Маркс подчеркнул: «...мы должны... предположить, что часть вновь образовавшегося денежного капитала, превращаемая в переменный капитал, всегда находит рабочую силу, в которую она должна превратиться» (1, т. 24, стр. 570).

В. И. Ленин, касаясь этой проблемы, заметил, что из схемы К. Маркса «...никакого вывода о преобладании I-го подразделения над II-ым сделать нельзя: оба развиваются там параллельно. Но эта схема не принимает во внимание именно технического прогресса», «...технический прогресс выражается в том, что отношение перемен-

ного капитала к постоянному $\left(\frac{v}{c}\right)$ постепенно уменьша-

ется...», «...если внести это изменение в схему, то получится более быстрое возрастание средств производства сравнительно с предметами потребления» (2, т. 1, стр. 78). При этом преимущественный рост I подразделения проявляется в росте как продуктов I и II подразделений, так и переменного капитала v , занятого в них.

Но нельзя забывать, что в данных схемах объем производства в подразделениях измерялся в текущей стоимости $(c+v+m)$ каждого года, а не в ценах предшествующих лет. Следовательно, изменения объемов производства, выраженные в текущей стоимости продуктов, и изменения v совпадают с изменениями в затратах общественного рабочего времени в подразделениях, свидетельствуют о росте подразделений в смысле занятого в них количества общественного рабочего времени. Иное построение схем и не требовалось для иллюстрации закономерностей воспроизводства капитала и при использовании схем в дискуссии по перспективам развития капитализма в России.

В нашей же практике темпы роста групп «А» и «Б» измеряются в сравнимых ценах, поскольку речь идет о росте объема выпуска продукции главным образом за счет повышения производительности труда, а не изменения количества общественного рабочего времени по подразделениям или группам. Одно и то же количество общественного труда при любой его производительности создает одну и ту же стоимость, но объем в натуральном выражении тем больше, чем выше производительность труда. Это обстоятельство и учитывается при использовании сравнимых цен для измерения темпов роста групп «А» и «Б». Следовательно, эти темпы характеризуют не преимущественный рост той или иной группы, а эффективность общественного производства. Количество труда в группе может сокращаться, а выпуск продукции расти.

Существенным недостатком применения этих показателей, особенно в группе «А», является то, что все большее влияние оказывает на них многократный счет одной и той же продукции, возникающий в связи со специализацией и различными структурными изменениями в производстве.

В недавнем семилетии, например, рост производства тракторов в нашей стране сопровождался отделением от тракторных заводов производства моторов, пусковых двигателей и некоторых деталей. При этом специализация часто тем и заканчивалась, что создавались самостоятельные заводы, поставляющие продукцию для комплектации тракторов. Осуществление же второй стадии специализации (объединение в одном предприятии мелких заводов, выпускающих одну и ту же продукцию) при управлении промышленностью через совнархозы было затруднено.

Поэтому фактическая производительность труда осталась в лучшем случае прежней, а показатели производительности труда (выработка) и выпуска продукции в отрасли существенно росли. Пусковой двигатель, который прежде выпускался цехом тракторного завода и входил в состав товарной продукции только с трактором, теперь входит в нее трижды. Первый раз — на заводе пусковых двигателей, второй — на моторном заводе вместе с двигателем трактора, третий — на тракторном заводе вместе с трактором. Поскольку литейные цеха создавались главным образом на тракторных заводах, то литье,

поставленное производителям пусковых двигателей, учитывалось в составе товарной продукции даже четыре раза. Следовательно, показатели выпуска продукции и выработки на одного работающего в денежном выражении могут расти даже в том случае, если действительная производительность труда и количество выпускаемых тракторов остается на прежнем уровне.

В минувшем пятилетии тракторостроение не располагало резервами роста выпуска продукции и производительности труда за счет дальнейшего деления тракторов на части. Существенных улучшений в технологии и технике тракторостроения, могущих повлиять на рост производительности труда в отрасли, не произошло. Но было обращено внимание на то, что в себестоимости тракторов большой удельный вес занимает инструмент и технологическая оснастка. Стало быть, стоит только выделить инструментальное производство в самостоятельное, как выработка вырастет и на тракторном заводе и в министерстве. Министерству к тому же можно будет учесть дополнительные выпуск и реализацию товарной продукции.

И вот отделили от тракторного завода инструментальное производство, преобразовали бывший инструментальный корпус в инструментальный завод, и сразу же все показатели поползли вверх.

Но вместе с тем на тракторном заводе организовали новое инструментальное хозяйство. В штаты инструментального завода добавили несколько десятков единиц, чтобы сформировать заводоуправление со всеми подразделениями. В Главтракторпроме стали заботиться о регулировании взаимоотношений между двумя заводами. Если же учесть, что дальнейшим логическим завершением специализации должно быть сосредоточение всех инструментальных заводов в Министерстве станкостроительной и инструментальной промышленности, то появится, пожалуй, необходимость в регулировании отношений и между министерствами.

Между прочим, когда происходит обратный процесс и предприятия, занятые производством по существу одной продукции, объединяются в фирмы, счет продукции по-прежнему ведется по каждому предприятию, а по фирме — как сумма показателей предприятий. Поэтому структурные изменения в промышленности ведут только

к увеличению многократного счета продукции. В обратную же сторону такие изменения не действуют.

Только подобными фактами да вольным обращением с ценами на новую технику можно объяснить, почему темпы роста валовой продукции машиностроения и металлообработки (в денежном выражении) у нас в пять раз выше темпов роста объема производства отливок для машиностроения (в тоннах) и почти на 20% выше темпов роста капитальных вложений в оборудование, инструмент и инвентарь. Все это свидетельствует о том, что темпы роста группы «А» очень слабо отражают действительные темпы роста производства средств производства.

В группе «Б» новая техника не производится, а внедряется и ведет к росту объема производства главным образом продукции, учитываемой в сравнимых ценах. Чем эффективнее новая техника в этой группе (т. е. чем эффективнее труд в группе «А»), тем выше объем производства продукции и ниже затраты общественного труда на ее выпуск в группе «Б». Поэтому показатели роста объема производства, применяемые в практике учета, не только могут, но и должны быть выше в группе «Б». Они должны свидетельствовать не о преимущественном росте производства потребительской продукции, а об эффективности общественного производства в целом, и прежде всего производства средств производства (точнее, в производстве элементов основных и оборотных производственных фондов), поскольку рост производительности труда в обеих группах зависит главным образом от эффективности новой техники. Новая же техника — это продукция группы «А».

На ошибочность иллюстрации темпами роста производства в группах «А» и «Б» действия объективного закона преимущественного развития производства средств производства указывалось в литературе уже давно (9, стр. 176). Однако до сих пор факты сближения темпов роста «А» и «Б», особенно опережающих темпов «Б», преподносятся чуть ли не с извинениями. Авторы одной из книг указывают: «На наш взгляд, для теоретического анализа не имеет значения, как практически исчисляется объем средств производства и предметов потребления» (37, стр. 87).

Для теории это может быть и так. Но для практики ошибочное толкование темпов роста производства по

группам «А» и «Б» может оказаться вредным. Уже теперь, даже при относительно невысокой урожайности, группа «Б» опережает группу «А». Не за горами то время, когда существенно возрастет производство легковых автомобилей. Это тоже существенно повлияет на темпы роста группы «Б».

Вместо надлежащей оценки положения дел у нас искусственно, с усилием, достойным лучшего приложения, раздувается группа «А», зажимается группа «Б», придумываются стыдливые объяснения факту сближения темпов, рассматривается это чуть ли не как временное явление, вызванное тем, что ранее, вроде, перестарались по линии «А». Несмотря на все это, объем производства продукции в группе «Б» с силой объективного закона развития общественного производства растет, опережая группу «А», преодолевая наше упорное сопротивление закономерному процессу.

Пора изменить взгляд на соотношение в темпах роста групп «А» и «Б» как на выражение объективного закона преимущественного роста I подразделения. Между тем и другим достаточной для этого связи нет. Наоборот, следует рассматривать преимущественные темпы роста объема производства в группе «Б» как выражение растущей эффективности всего общественного производства и дать тем самым простор развитию производства потребительских продуктов, не опасаясь при этом, что развитие идет вопреки закону преимущественного развития производства средств производства.

О преимущественном развитии I подразделения достаточно убедительно свидетельствуют другие данные. Прежде всего это данные об изменении пропорций деления национального дохода на производственное накопление и непроизводственное потребление. Этот показатель по сравнению с объемом производства в группах «А» и «Б» имеет то преимущество, что в нем нет многократного счета продукции (затрат) и он в меньшей мере искажается в результате изменения цен.

Статистические данные показывают, что ежегодный прирост капитальных вложений производственного назначения за период с 1945 по 1967 г. в среднем более чем на 20% превышал прирост национального дохода и почти в 2,5 раза — прирост численности рабочих и служащих в народном хозяйстве.

Эта закономерность характерна и для 1968—1970 гг., когда планом предусматривались более высокие темпы прироста продукции в группе «Б». Так, в 1968 г. прирост национального дохода в сравнении с 1967 г. составил 7,4, капитальных вложений производственного назначения — 8,6% при фактическом росте промышленного производства в группе «А» на 8,4, группе «Б» — на 8,1%. В 1970 г. прирост национального дохода (к 1969 г.) составил 8,5, капитальных вложений — 9, а увеличение реальных доходов на душу населения только на 5,2% при росте промышленного производства в группе «А» на 8,2, в группе «Б» — на 8,5%.

О преимущественном росте производства средств производства может в некоторой мере свидетельствовать также динамика амортизационных отчислений. Известно, что доля живого труда в единице продукции сокращается при росте производительности труда, овеществленного в потребляемых средствах труда. «Повышение производительности труда, — подчеркивается в «Капитале» К. Маркса, — заключается именно в том, что доля живого труда уменьшается, а доля прошлого труда увеличивается, но увеличивается так, что общая сумма труда, заключающаяся в товаре, уменьшается; что, следовательно, количество живого труда уменьшается больше, чем увеличивается количество прошлого труда... Та часть стоимости, которая происходит от сырья и вспомогательного материала, с повышением производительности труда должна сокращаться, потому что производительность труда по отношению к этим материалам обнаруживается именно в том, что их стоимость понижается. Напротив, наиболее характерным для повышения производительной силы труда является то, что основная часть постоянного капитала претерпевает очень сильное увеличение, а вместе с тем увеличивается и та часть его стоимости, которая переносится на товары вследствие износа» (1, т. 25, ч. I, стр. 286).

Таким образом, преимущественный рост количества общественного труда, занятого воспроизводством основной части постоянного капитала, является закономерным процессом расширенного воспроизводства.

Учет амортизации в нашей практике далек от совершенства. В теоретическом плане категория амортизации также нуждается в несколько ином освещении, отличном

от того, в котором она рассматривается в настоящее время (9, гл. II и III). Но тем не менее динамика этого показателя достаточно наглядно свидетельствует о росте доли общественного труда, занятого воспроизводством основных производственных фондов. Так, за 1960—1968 гг. среднегодовой прирост сумм амортизационных отчислений по государственным предприятиям и хозяйственным организациям составил 13%, в 1968 г. (к 1967 г.) — 8,4%, что заметно опережает темпы прироста национального дохода.

Эти статистические данные показывают, что и при опережающем росте объема производства в группе «Б» преимущество в темпах развития остается за I подразделением.

Что же можно сказать о перспективах, намеченных Коммунистической партией?

Директивами XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 гг. не намечается в ближайшей перспективе заметное преимущество в развитии I или II подразделения: национальный доход увеличится за пятилетие на 37—40, а капитальные вложения в народное хозяйство — на 36—40%. Производство средств производства (в промышленности) при этом увеличится на 36—40, а производство предметов потребления — на 44—48%. Это отражает прежде всего высокие требования к повышению эффективности общественного производства, а не преимущественный рост группы «Б» и тем более II подразделения. Прогнозирование путем экстраполяции приведенных выше данных также не свидетельствует о неизбежности пересечения в какой-то точке линий развития I и II подразделений, после которого весь общественный труд, занятый в сфере материального производства, стал бы перераспределяться в пользу II подразделения.

В дальнейшей перспективе все большую роль в соотношении темпов развития I и II подразделений будет играть все более глубокое исследование закономерностей расширенного воспроизводства общественного продукта на основе использования экономико-математических методов и моделей.

Поэтому особого рассмотрения заслуживает проблема оптимизации соотношения между накоплением и потреблением.

12. Оптимизация соотношения между накоплением и потреблением

Оптимизация соотношения между накоплением и потреблением является одной из наиболее сложных проблем. В настоящее время не только оптимизация, но и оценка соотношения между производством средств производства и потребительской продукции встречает затруднения. Сложность заключается в том, что соизмерение ущерба, причиненного потреблению сегодня в результате затрат на развитие производства с целью увеличения потребления завтра, практически невозможно.

Использование для этой цели принципа нахождения функции эффекта, приходящегося в среднем на каждого члена общества, при которой вся совокупность членов общества и каждый из них в отдельности стремятся к ее максимуму (как при оценке потребительной стоимости продуктов), здесь исключается. Хотя заинтересованность общества и отдельных его членов в развитии производства совпадает, стремления каждого в отдельности направлены главным образом на максимальное удовлетворение потребностей сегодня. Развитие при этом возлагается каждым на общество, точнее — на всех остальных членов общества.

Поэтому общество не имеет возможности путем взвешивания стремлений каждого гражданина определить оптимальную величину затрат общественных ресурсов рабочего времени на развитие производства. Причем задача, как уже указывалось, заключается не только в том, чтобы найти эту величину, но и в том, чтобы найти оптимальную скорость ее изменения.

Представим графически распределение во времени ресурсов общественного труда между подразделениями (рис. 18).

На рис. 18 по оси абсцисс отложено время (годы) t , вправо от 0 — будущее, влево — прошлое; по оси ординат — ресурсы общественного труда P и объемы производства $M = A + B$. Кривая P показывает изменение общих ресурсов общественного труда во времени. Предположим, что она изменяется по закону $P_t = P_0 \rho^t$, где P_t — ресурсы в момент t ; P_0 — ресурсы в начальный момент времени при $t = 0$; ρ — коэффициент ежегодного прироста ресурсов, определяемый как средняя за период t величина

на отношения ресурсов в точке t к ресурсам в точке $t-1$. Величина ρ может быть принята на уровне ежегодного прироста населения, т. е. $\sim 1,01-1,02$ за год.

Кривая K характеризует распределение во времени ресурсов общественного труда между I и II подразделениями: между кривой K и осью абсцисс — ресурсы для производства потребительской продукции, между K и

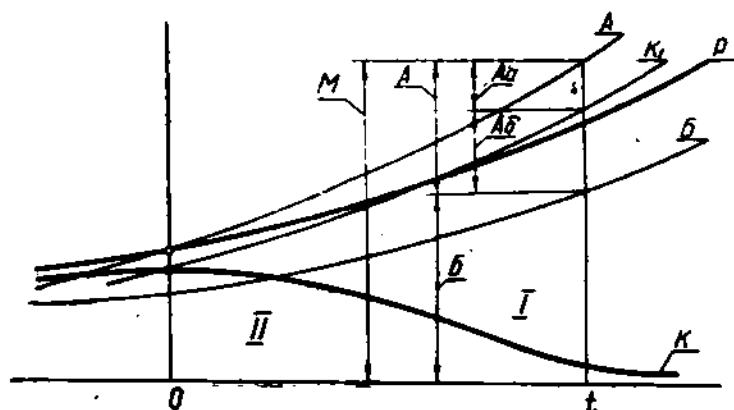


Рис. 18. Распределение ресурсов общественного труда между подразделениями I и II и рост в них объемов производства

P — для производства элементов производственных фондов. Производственные фонды в свою очередь распределяются между обоими подразделениями. В соответствии с этим и трудовые ресурсы I подразделения делятся на занятые в производстве элементов производственных фондов для I и II подразделений.

Кривая K в бесконечно далеком прошлом асимптотически приближалась к кривой P , отражая использование в то время почти всех ресурсов труда непосредственно для производства потребительских продуктов. Возможно, что это время небесконечно велико. До него еще более длительное время линия K , по-видимому, совпадала с линией P , отражая образ жизни животного мира. Но в какой-то точке времени, может быть под воздействием очень сильного случайного явления, линия K на бесконечно малую величину отошла от линии P и с тех пор началось очень медленное, но все ускоряющееся развитие человеческого общества, выражающееся во все большем удалении линии K от P .

Важнейшим направлением технического прогресса является автоматизация. Хотя она и вторгается во все области человеческой деятельности, включая управление производством, но завершаться будет в последнюю очередь, по-видимому, в разработке и производстве самих автоматов. Следовательно, в далеком будущем линия K асимптотически приблизится к оси абсцисс и почти все ресурсы общественного труда будут заняты производством только элементов производственных фондов, в том числе и необходимых для автоматического производства потребительской продукции. При этом все затраты, связанные с производством последней, ограничатся возмещением потребления (износа) производственных (основных) фондов, а весь общественный труд, занятый теперь только в группе «А», может быть разделен на две части: $A_{\text{п}}$ — простое воспроизводство (возмещение) и $A_{\text{р}}$ — расширенное воспроизводство (накопление).

Как известно, во вновь созданный общественный продукт (национальный доход) M входят накопление $A_{\text{н}}$ и продукт потребления B , т. е. $M = A_{\text{н}} + B$.

В потребительский продукт Π составной частью входит $A_{\text{п}}$ — затраты на возмещение потребления производственных фондов. Поэтому $M = A_{\text{н}} + A_{\text{п}} + B_0$, где B_0 — потребительский продукт, выраженный в затратах на его производство без учета затрат на возмещение потребления производственных фондов. Отсюда $M = A + B_0$.

Данное выражение более четко, чем предшествующее, характеризует состав конечного продукта общественного производства. Во-первых, практически невозможно разделить A на $A_{\text{н}}$ и $A_{\text{п}}$, тем более, что в практике не потребление производственных фондов определяет объем капитальных вложений, а, наоборот, объем капитальных вложений определяет выбытие производственных фондов (9, гл. II и III).

Во-вторых, элементы производственных фондов являются продукцией I подразделения, независимо от того, предназначены они для возмещения выбытия или расширения производства.

Вместе с тем из этого выражения видно, что в далекой перспективе, когда весь труд будет затрачиваться на производство автоматических машин и заводов, конечный продукт общественного производства, выраженный в единицах, эквивалентных затратам общественного рабочего

времени, будет равен только капитальным вложениям, т. к. в этом случае $B_0 = 0$. Следовательно, доля производства средств производства (элементов производственных фондов) будет равна 1.

При существующих сейчас методах оценки роста объема производства в неизменных ценах прирост будет наблюдаться не только в рассмотренном здесь случае, но и при сведении к нулю вообще всех затрат общественного труда (полная автоматизация воспроизводства общественного продукта). Для этого достаточно, чтобы производство увеличивалось лишь в натуральном измерении, а сравнимые цены могут остаться при этом как исторически сформировавшийся инструмент сведения многокомпонентного вектора производимой продукции к скалярной величине, если не появится необходимый для этих целей какой-либо другой, более совершенный инструмент.

Исходя из этого, предположим, что рост объема производства в обоих подразделениях, выраженный в натуральных единицах (сравнимых ценах), зависит от объема вновь созданных для подразделения элементов производственных фондов и их эффективности. Пусть эта зависимость выражается в виде

$$M_t = A_t + B_t = A_{t-1} + A_{t-1}^a E_{t-1}^a + B_{t-1} + A_{t-1}^b E_{t-1}^b, \quad (23)$$

где M_t — объем производства в точке времени t (год t); A_t — объем производства элементов производственных фондов в точке времени t ; B_t — объем производства потребительской продукции в точке времени t ; A_{t-1} — объем производства элементов производственных фондов в точке времени $t-1$; A_{t-1}^a — объем производства элементов производственных фондов в точке времени $t-1$ для производства элементов производственных фондов в точке времени t ; B_{t-1} — объем производства потребительской продукции в точке времени $t-1$; A_{t-1}^b — объем производства элементов производственных фондов в точке времени $t-1$ для производства потребительской продукции в точке времени t ; E_{t-1}^a — коэффициент эффективности затрат на производство элементов производственных фондов в точке $t-1$ (отношение прироста продукции в подразделении к вводу новых элементов его производственных фондов); E_{t-1}^b — то же для производства потребительской продукции.

Распределение продукции 1 подразделения между обоими подразделениями на рис. 18 характеризуется кривой K_1 .

В качестве единицы измерения всех объемов и затрат принимаются затраты труда на единицу продукции в точке 0. Из этого следует, что на графике в начале оси абсцисс (точка 0) все ординаты, характеризующие объемы продукции, совпадают с ординатами, характеризующими ресурсы труда, затраченные на производство продукции, а вправо и влево от 0 они расходятся в соответствии с изменениями производительности труда.

Точки пересечения кривых P , K и K_1 с осью ординат представляют собой распределение общественных трудовых ресурсов и продукции сегодня.

Обозначим распределение средств производства между подразделениями A и B в точке t через $\lambda_t = \frac{A_t^a}{A_t}$. Тогда из выражения (23)

$$A_t = A_{t-1} + A_{t-1}\lambda_{t-1}E_{t-1}^a = A_{t-1}(1 + \lambda_{t-1}E_{t-1}^a) \dots \quad (24)$$

$$B_t = B_{t-1} + A_{t-1}(1 - \lambda_{t-1})E_{t-1}^b. \quad (25)$$

В соответствии с выражением (24)

$$A_2 = A_1(1 + \lambda_1 E_1^a); \quad A_3 = A_2(1 + \lambda_2 E_2^a) =$$

$$= A_1(1 + \lambda_1 E_1^a) \cdot (1 + \lambda_2 E_2^a); \dots$$

$$A_n = A_1(1 + \lambda_1 E_1^a)(1 + \lambda_2 E_2^a) \dots (1 + \lambda_{n-1} E_{n-1}^a) =$$

$$= A_1 \prod_{i=1}^{n-1} (1 + \lambda_i E_i^a),$$

где $i = 1, 2, \dots, n$.

Прологарифмировав, получим

$$\ln A_n = \ln A_1 + \sum_{i=1}^{n-1} \ln(1 + \lambda_i E_i^a),$$

откуда

$$A_n = A_1 e^{\sum_{i=1}^{n-1} \ln(1 + \lambda_i E_i^a)}. \quad (26)$$

Если рассматривать изменение объема производства в А как непрерывную функцию, т. е. $\Delta t \rightarrow 0$, а $n \rightarrow \infty$, то

$$A_T = A_0 e^{\int_0^T \ln[1+\lambda(t)] E^a(t) dt}, \quad (27)$$

где A_0 — исходный объем производства элементов производственных фондов (в точке $t=0$); T — конечное значение рассматриваемого периода ($t=T$).

В соответствии с выражением (25)

$$B_2 = B_1 + A_1 (1 - \lambda_1) E_1^6;$$

$$B_3 = B_2 + A_2 (1 - \lambda_2) E_2^6 = B_1 + A_1 (1 - \lambda_1) E_1^6 + A_2 (1 - \lambda_2) E_2^6;$$

$$B_n = B_1 + A_{n-1} (1 - \lambda_{n-1}) E_{n-1}^6 = B_1 + \sum_{i=1}^{n-1} A_i (1 - \lambda_i) E_i^6. \quad (28)$$

Если рассматривать объем производства в Б как непрерывную функцию, т. е. $\Delta t \rightarrow 0$, а $n \rightarrow \infty$, то

$$B_T = B_0 + \int_0^T A(t) [1 - \lambda(t)] E^6(t) dt, \quad (29)$$

где B_0 — исходный объем производства потребительской продукции (в точке $t=0$); T — конечное значение рассматриваемого периода ($t=T$).

Формулами (27) и (29), выведенными А. И. Лузиным, совершенно точно описывается процесс развития обоих подразделений общественного производства. Из формул видно, что изменение объемов производства как в А, так и в Б подчинено сложному закону и требует выяснения функции $\lambda(t)$, т. е. закономерности изменения во времени распределения вновь производимых элементов производственных фондов между А и Б, функций $E^a(t)$ и $E^6(t)$, т. е. закономерностей изменения во времени коэффициентов эффективности затрат в А и Б.

Эти функции изучению пока не поддаются, поскольку нет необходимых для этого статистических данных, а продукт в А до построения всеохватывающих балансов производства и потребления, а также расчета на их основе коэффициентов полных затрат расчленил на A^a и A^6

практически невозможно. Поэтому целесообразно вернуться к формулам (26) и (28), приняв в качестве допущения, что $\lambda_i E_i^0 = \lambda E_a = \text{const}$ и $(1 - \lambda_i) E_i^0 = (1 - \lambda) E_b = \text{const}$.

Основанием для такого допущения вполне могут стать статистические данные о развитии нашей экономики, например, в последнем десятилетии. Темпы роста национального дохода (в фактически действовавших ценах) и капитального строительства (в сопоставимых ценах) составили за этот период примерно одну и ту же величину 1,07, доля накопления в национальном доходе

$$\left(\frac{A}{A+B} \right)$$

держалась на уровне 0,28, а эффективность затрат на развитие производства (E — отношение годового прироста национального дохода к накоплению за предшествующий год) на уровне 0,28 (31, стр. 523, 570, 571).

При названных допущениях формулы (26) и (28) приобретают вид:

$$A_n = A_1 (1 + \lambda E_a)^{n-1}, \quad (30)$$

$$B_n = B_1 + A_1 \frac{E_b}{E_a} \cdot \frac{1 - \lambda}{\lambda} [(1 + \lambda E_a)^{n-1} - 1]. \quad (31)$$

Учитывая, что

$$AE = A\lambda E_a + A(1 - \lambda) E_b, \quad (32)$$

(E — общий для A и B коэффициент эффективности затрат), выражение (31) можно представить в следующем виде:

$$B_n = B_1 + A_1 \left(\frac{E}{\lambda E_a} - 1 \right) [(1 + \lambda E_a)^{n-1} - 1],$$

а общий объем производства конечного продукта в точке n

$$M_n = A_n + B_n = M_1 + A_1 E \cdot \frac{(1 + \lambda E_a)^{n-1} - 1}{\lambda E_a}, \quad (33)$$

где $M_1 = A_1 + B_1$.

Предположим, что темп роста объема потребительских продуктов задан в виде $B_n = B_1 \beta^{n-1}$, где $\beta = \frac{B_t}{B_{t-1}} = \text{const}$.

Тогда по формуле (32) $A(1 - \lambda) E_b = B(\beta - 1)$ и соответственно

$$\lambda E_a = E - \frac{B}{A} (\beta - 1). \quad (34)$$

Это выражение с помощью формулы (33) позволяет проследить как изменяется объем производства конечного продукта M в зависимости от принятого значения роста объема производства потребительской продукции— β .

Из (34) видно, что при $\beta=1$ $\lambda E_a = E$, и тогда из формулы (33)

$$M_n = M_1 + A_1 [(1 + E)^{n-1} - 1] = M_1 + (A_n - A_1). \quad (35)$$

Наибольшее значение β может получить, согласно формуле (34), при $\lambda E_a = 0$, и тогда

$$\beta = \frac{EA}{B} + 1. \quad (36)$$

В этом случае, поскольку $\lambda E_a = 0$, из формулы (33) получим $M_n = \frac{0}{0}$, т. е. неопределенность. Согласно правилу

Лопиталья, предел отношения функций равен пределу отношения их производных. Это значит, что в формуле (33)

$$\begin{aligned} \lim_{\lambda E_a \rightarrow 0} \frac{(1 + \lambda E_a)^{n-1} - 1}{\lambda E_a} &= \lim_{\lambda E_a \rightarrow 0} \frac{d[(1 + \lambda E_a)^{n-1} - 1]}{d(\lambda E_a)} = \\ &= \lim_{\lambda E_a \rightarrow 0} [(n-1)(1 + \lambda E_a)^{n-2}] = n-1. \end{aligned}$$

В соответствии с этим при $\lambda E_a = 0$ $\beta = \max$, а из формулы (33)

$$M_n = M_1 + A_1 E (n-1). \quad (37)$$

Учитывая, что функция M_n , согласно формуле (33), монотонно возрастает при росте значения λE_a , а значение λE_a по формуле (34) тем больше, чем ближе β к своему минимальному значению (к 1), можно утверждать: чем выше темпы роста (β) потребительской продукции (B), тем ниже темпы роста конечного продукта общественного производства (M_n).

Если принять, в частности, что A , M и B развиваются в одинаковом темпе β , то в формуле (32) $EA = M(\beta-1)$, откуда

$$\beta = \frac{EA}{M} + 1. \quad (38)$$

Сравнивая полученный результат с максимально возможным значением β , определяемым по формуле (36),

можно установить, что в последнем случае значение β меньше, поскольку всегда $M > B$. Лишь при $M = B$ результаты будут равны, но это означает, что $\lambda = 0$, а, стало быть, M_n получает наименьшее значение, определяемое по формуле (37).

По приводившимся выше статистическим данным развития нашей экономики можно принять $E = 0,28$ и $\frac{A}{M} = 0,28$. Тогда $\beta = 0,28 \cdot 0,28 + 1 = 1,08$.

По тем же статистическим данным, темпы роста потребительской продукции (потребляемой части национального дохода) находятся на уровне $\beta = 1,07$ (31, стр. 571). Это свидетельствует о приемлемости принятых выше допущений и достаточной достоверности использованных статистических данных.

Наконец, исходя из выражения (34), можно определить реальное для нашей экономики значение λE_a

$$\lambda E_a = 0,28 - \frac{1 - 0,28}{0,28} (1,08 - 1) = 0,08.$$

Следовательно, если $E_a = E_b = 0,28$, то $\lambda = \frac{0,08}{0,28} = 0,28$,

т. е. имеет то же значение, что и отношение A к M .

Заслуживает внимания то обстоятельство, что если $E_a = E_b = E$ и $\lambda = \frac{A}{M}$, то соотношение между A и B всегда постоянно. Это доказывается делением выражения (30) на выражение (31).

Экономический смысл данного явления состоит в том, что изменению пропорций распределения трудовых ресурсов между I и II подразделениями должно предшествовать их перераспределение внутри I подразделения. Следовательно, производству средств производства принадлежит регулирующая роль и если нужно изменить в его пользу распределение общественных ресурсов, действуя в соответствии с объективным законом развития производства, то необходимо при едином коэффициенте эффективности в обоих подразделениях соблюдать условие

$$\frac{A_t^a}{A_t^b} > \frac{A_t}{B_t} \quad (39)$$

Изменение объемов производства в связи с ростом производительности труда при условиях (23), (39) и неизменных оценках единицы продукции представлены в графике (рис. 18) линиями А (подразделение I) и Б (подразделение II).

Из графика видно, что хотя ресурсы общественного труда, затрачиваемые непосредственно на производство потребительской продукции, и стремятся к 0, объем производства потребительских продуктов непрерывно возрастает. В далеком будущем весь труд будет затрачиваться на производство средств производства, значительная часть которых будет предназначаться для автоматического производства предметов потребления.

Положение кривых на осях координат рис. 18 зависит от ряда условий. К ним относятся исходные условия $\frac{A_1}{B_1}$;

коэффициент эффективности затрат на производство элементов основных фондов E ; распределение производства средств производства между подразделениями $\lambda = f(t) = \frac{A^a}{A}$.

Исходные условия — это реальная обстановка. Она должна учитываться при построении кривых, но повлиять на нее в данный момент времени нельзя. Коэффициент эффективности E зависит от очень многих факторов. Усилия всего общества и каждого его члена, особенно при разработке и внедрении новой техники, всегда направлены на максимизацию этого коэффициента. Однако статистические данные свидетельствуют, что он является весьма устойчивым и держится на уровне $E=0,28$. Если принять его величину постоянной во времени и (с целью упрощения анализа) одинаковой для обоих подразделений, то главным фактором, определяющим положение кривых в осях координат, остается λ . Исходя из этого, назовем λ *главным параметром* регулирования развития общественного производства.

В зависимости от параметра λ при прочих равных условиях кривая Б может расти быстрее или медленнее. Если заставить I подразделение работать само на себя ($\lambda=1$), то линия Б будет идти параллельно оси абсцисс. Если же всю продукцию I подразделения направлять только во II подразделение ($\lambda=0$), то подъем линии Б

будет наиболее крутым, но ограниченным возможностями I подразделения.

Чтобы сделать со временем подъем еще круче, нужно дать возможность развиваться и I подразделению. Значит, от максимально возможного подъема Б в современных условиях нужно отказаться. Если продукция А распределяется между I и II подразделениями пропорцио-

нально продукции подразделений ($\lambda = \frac{A}{M} = \text{const}$), то,

как указывалось, в течение всего периода такого распределения пропорции остаются неизменными.

Если в трех рассмотренных нами случаях продлить все кривые графика (рис. 18) далеко влево, то выяснится, что ни при одном из них человечество не смогло бы оторваться от своего первобытного состояния и потребление оставалось бы на неизменном уровне. В первом случае развивалась бы продукция только А, что для дикаря невыносимо. В двух остальных не было бы I подразделения, а стало бы и развития производства во II подразделении.

Следовательно, единственно возможным вариантом развития производства является постоянный рост во времени параметра λ . Любое его изменение в обратную сторону будет шагом к первобытному состоянию.

Таким образом, положение кривой Б ограничивается определенными рамками. Нижним ее ограничением оказываются темпы роста трудовых ресурсов (населения), т. е. линии Р, поскольку снижение потребления на душу населения во имя развития I подразделения недопустимо и не отвечает требованиям основного закона социализма. Верхним ограничением оказывается скорость роста при $\lambda = \text{const}$, т. е. $B_n = B_1(1 + \lambda E)^{n-1}$.

В современных условиях, когда во всем мире нарастают темпы технического прогресса, нижний предел, по видимому, более близок к оптимальному. Но считать его оптимальным нельзя.

Если признать нижний предел оптимальным и считать, что на протяжении всей истории человечества производство развивалось и впредь будет развиваться в таком же режиме, значит уровень личного потребления постоянен на протяжении всего этого периода — от первобытного состояния до завершения полной автоматиза-

ции производства потребительских продуктов. Можно ли так считать?

Прежде всего невозможно сопоставить уровни потребления современного и первобытного человека путем сравнения продуктов их потребления, ибо с течением времени потребности и потребительский продукт качественно видоизменяются и становятся несоизмеримыми. Видоизменяются же они только потому, что развивается I подразделение.

Общим для доисторического и современного потребительского продукта является то, что и тот и другой опосредуют воспроизводство человеческого рода, тот и другой стимулируют развитие производства. Судя по статистическим данным, существенных изменений в темпах роста численности населения в связи с увеличением срока жизни человека и повышением рождаемости за обозримый исторический период не наблюдается. По этому показателю уровень удовлетворения потребительскими продуктами в количественном отношении остается неизменным.

Человек постоянно заботится о своих потомках. Но стабилизовавшиеся темпы воспроизводства человеческого общества, видимо, устраивают его. Поэтому все избыточные ресурсы направляются обществом на развитие материального производства. Стимулы развития производительных сил, таким образом, оказываются сильнее стимулов к размножению. Отношение к деторождению и содержанию потомства, проявляющееся как действие закона природы, с одной стороны, и стремление к повышению уровня потребления (своего собственного и потомков) путем развития производства, с другой стороны, определяют исключительно высокую устойчивость количественного уровня удовлетворения потребностей.

Человечество, как известно, прошло несколько этапов своего развития. Последний антагонистический способ производства — капиталистический, — хотя и уступает постепенно свои позиции социализму, продолжает существовать. К. Маркс, исследуя этот способ производства, показал, что потребление рабочего при капитализме ограничивается количеством продуктов, достаточным лишь для воспроизводства затраченной в процессе труда рабочей силы, что повышение жизненного уровня пролетариата при капитализме не имеет объективной основы.

Рассматривая различные формы относительного перенаселения как абсолютный, всеобщий закон капиталистического накопления, К. Маркс привел данные санитарного врача Манчестера доктора Ли: «...в этом городе средняя продолжительность жизни для состоятельного класса составляет 38 лет, для рабочего класса — всего 17 лет. В Ливерпуле она составляет 35 лет для первого, 15 лет для второго класса» (1, т. 23, стр. 656).

«При таких обстоятельствах, — подчеркнул К. Маркс, — абсолютное возрастание этой части пролетариата должно происходить в такой форме, при которой, несмотря на быстрое изнашивание ее элементов, численность ее увеличивается. Таким образом, требуется быстрая смена поколений рабочих. (Этот закон не имеет силы в отношении остальных классов населения.) Эта общественная потребность удовлетворяется ранними браками, — необходимым следствием условий, в которых живут рабочие крупной промышленности, — и той премией за производство рабочих детей, которую дает их эксплуатация» (1, т. 23, стр. 656—657).

Таким образом, жестокая эксплуатация влечет за собой сокращение жизни рабочих, но повышает скорость их размножения, что способствует усилению перенаселения и дальнейшему ужесточению эксплуатации. К. Маркс указывал, что «...при капиталистической системе все методы повышения общественной производительной силы труда осуществляются за счет индивидуального рабочего; все средства для развития производства превращаются в средства подчинения и эксплуатации производителя, они уродуют рабочего, делая из него неполного человека..., принижают его до роли придатка машины, превращая его труд в муки, лишают этот труд содержательности, отчуждают от рабочего духовные силы процесса труда в той мере, в какой наука входит в процесс труда как самостоятельная сила... Но все методы производства прибавочной стоимости являются в то же время методами накопления, и всякое расширение накопления, наоборот, становится средством развития этих методов. Из этого следует, что по мере накопления капитала положение рабочего должно ухудшаться, какова бы ни была, высока или низка, его оплата... Следовательно, накопление богатства на одном полюсе есть в то же время накопление нищеты, муки труда, рабства, невежества, огрубения и

моральной деградацин на противоположном полюсе, т. е. на стороне класса, который производит свой собственный продукт как капитал.

Этот антагонистический характер капиталистического накопления в различных формах признан экономистами, хотя они сваливают в одну кучу с ним отчасти аналогичные, но, тем не менее, существенно отличные явления докапиталистических способов производства» (1, т. 23, стр. 660, 661).

Неисчерпаемые возможности повышения жизненного уровня трудящихся появляются при замене капитализма социалистическим способом производства. При социализме перестают действовать объективные законы, ограничивающие уровень потребления трудящихся. Но использование этих возможностей наталкивается на определенные преграды, наиболее существенной из которых является необходимость противостоять капиталистическому миру. Достаточно вспомнить, что из 50 лет своего существования Советский Союз почти четверть века вынужден был вести оборонительные войны и восстанавливать разрушенное войнами народное хозяйство.

С каждым следующим поколением появляются качественно новые потребности, такие же острые, какими были в свое время старые, отжившие свой век. Производство качественно нового продукта связано с внедрением более совершенных техники и технологии. Это стимулирует отвлечение ресурсов общественного труда в сферу производства средств производства.

Главным условием превращения труда в потребность человека является развитие в труде элементов творчества. Творческий труд — это не длительно повторяющееся, а новое производство, прежде всего производство средств производства. Можно творчески трудиться в любой области, в том числе и в сфере производства потребительских продуктов, содержание и форма которых сохраняются сотни лет. Но и здесь творчество связано с созданием и внедрением новой технологии производства, требующей разработки и освоения новых технических средств, т. е. в конечном счете — развития I подразделения.

Острые противоречия между государствами с различным социальным строем, империалистическая гонка вооружений (не только производство оружия, но и создание мощностей для его выпуска), не могут не прижимать ли-

нию Б вниз и не препятствовать более быстрому ее росту по сравнению с линией Р, сдерживая тем самым в количественном отношении удаление уровня потребления современного человека от уровня потребления дикаря.

Исходя из изложенного, можно допустить, что в настоящее время оптимальным параметром развития производства (λ) является именно тот, при котором скорости возрастания Р и Б близки, т. е. $\beta \rightarrow \rho$.

Таким образом, преимущественный рост производства средств производства и на будущее остается закономерностью общественного развития. При этом преимущественное развитие того или иного подразделения характеризуется динамикой занятых в них ресурсов общественного труда. Рост выпуска продукции, прежде всего в группе «Б», характеризует эффективность общественного производства.

Если вывод и его обоснования признать спорными и недостаточно убедительными, то для практических целей достаточно признания лишь следующих двух фактов, допускаемых не только приведенными здесь рассуждениями, но и жизнью: а) изменение распределения ресурсов по подразделениям не отличается высокой скоростью; б) движение возможно только в направлении увеличения доли, занятой производством средств производства, но не наоборот. Это значит, что не является существенной ошибкой, если оптимальный план функционирования социалистической экономики составляется с учетом фактически сложившихся пропорций.

Академик Н. П. Федоренко настойчиво и вполне убедительно доказывает необходимость не многих, а единого народнохозяйственного критерия оптимальности, который являлся бы синтетическим показателем оценки эффективности множества вариантов функционирования экономики. В связи с этим он пишет, что «система экономических законов социализма, сформулированная в учебниках по политической экономии социализма, страдает многими противоречиями. Иногда понятие «закон» применяется к таким процессам, которые не обладают какими-то самостоятельными внутренними связями, а составляют неотъемлемую, неразрывную часть одного экономического процесса» (38, стр. 190).

Н. П. Федоренко называет несколько таких законов, относя к ним и закон преимущественного роста производ-

ства средств производства. «Точно так же нельзя говорить о законе преимущественного роста производства средств производства,— указывает он,— поскольку ответ на вопрос, каковы должны быть темпы и пропорции развития отдельных отраслей, должен дать оптимальный план, рассчитанный исходя из принятого критерия, цели развития социалистической экономики и имеющихся ограничений» (38, стр. 190).

Когда речь идет о соотношениях темпов роста объема производства в группах «А» и «Б», то действительно это соотношение устанавливается оптимальным планом и никакого самостоятельного значения не имеет. Однако при постоянном относительном росте доли общественных ресурсов труда, выделяемой на производство средств производства в сфере производства элементов производственных фондов, действие этого закона наблюдается, как видно, на протяжении всей истории развития человеческого общества, включая сегодняшний день.

Таким образом, распределение общественных трудовых ресурсов между I и II подразделениями не вытекает из оптимального плана, характеризует общественную тенденцию предпочтения развития производства непродовственному потреблению, является одним из важнейших ограничений в оптимальном плане функционирования развивающейся социалистической экономики.

13. Централизация управления и самостоятельность производственно-хозяйственной деятельности

При рассмотрении иерархии системы управления общественным производством были изложены принципы обобщения показателей снизу вверх и детализации их сверху вниз. Как уже указывалось, необходимость в этом вытекает из потребности прогнозирования затрат. При расхождении между данными прогноза и детальными расчетами должны быть намечены и реализованы организационно-технические мероприятия, обеспечивающие выполнение заданий, полученных путем прогнозирования. Прогноз — результат расчетов более высокой ступени управления, нормативные расчеты — задача более низкого звена.

Разработка и реализация организационно-технических мероприятий, обеспечивающих выполнение заданий в рамках установленных сверху ограничений, и есть объ-

активная основа сочетания централизованного управления и самостоятельности в производственно-хозяйственной деятельности. Таким образом, каждый шаг сверху вниз связан с передачей ряда функций управления на нижние ступени.

В организационном отношении более или менее четко различаются следующие уровни управления: Совет Министров, Госплан, министерство, главное управление, производственное объединение (фирма), предприятие, корпус, цех, отделение, участок, пролет, смена, рабочее место. Однако внутри каждой ступени можно наблюдать более детальное деление структуры управления. Оно выражено в построении служебной лестницы в каждом подразделении: начальник, заведующий, заместитель, помощник, главный инженер и т. д.

Проблемы элементарного звена управления, как уже указывалось, включают в себя и распределение функций по различным уровням. Поэтому проблема централизации и децентрализации функций управления существует как самостоятельная лишь постольку, поскольку ее решение не терпит отлагательств, а проблемы элементарного звена управления еще далеки от решения.

Теория оптимального функционирования к низовым звеньям относит предприятия, стройки, торговые точки и т. д., к верхнему звену — Госплан. Разработка оптимального плана начинается с низовых звеньев хозяйства, где определяются объемы выполняемых работ, потребность в обслуживании и обеспечении производства со стороны. Оптимальный план устанавливает такую связь между выпуском продукции и поставками, при которой общий результат производства оказывается максимальным, т. е. разность между объемом реализации продукции и затратами на ее производство при данных ценах и условиях оплаты труда оказывается наибольшей.

На более высокой ступени управления (объединение) данные низовых звеньев обобщаются и сводятся в укрупненные показатели, в которых формируется оптимальный план на этой ступени.

На следующей ступени (министерство) повторяется то же, что и на предшествующей. И так до самой верхней ступени управления (Госплан).

На высшей ступени все планы работ и заявки на производственное и непроизводственное потребление балан-

сируются в укрупненных показателях. Планы производства устанавливаются при наилучшем использовании ресурсов. Определяются новые оценки, соответствующие оптимальному распределению ресурсов, т. е. такие, при которых на низших ступенях управления по величине затрат на производство становится очевидной нецелесообразность использования ограниченных ресурсов в направлениях, не предусмотренных оптимальным планом высших ступеней.

На основе таких оценок на более низких ступенях планы конкретизируются и оптимизируются. Уточняются также оценки для еще более низких ступеней.

После достижения самой низкой ступени оптимальное планирование повторяется снова в направлении снизу вверх, с уточнением оценок. Уточненные сверху оценки сообщаются вниз для дальнейшей оптимизации планов.

Такой процесс оптимального планирования является итерационным, а совокупность действий, выполняемых за один шаг снизу вверх и обратно, — итерацией. Этот процесс продолжается до тех пор, пока вновь полученные результаты не становятся достаточно близкими к предшествующим.

После составления плана дальнейшая его оптимизация, необходимость которой возникает в связи с постоянными изменениями в производстве, может ограничиться одной итерацией. Итерационный метод оптимального планирования в народнохозяйственных рамках требует широкого использования технических средств автоматизации сбора, хранения, передачи и преобразования производственной информации.

В низовых звеньях планы оптимизируются путем разработки организационно-технических мероприятий, направленных на лучшее использование ограниченных ресурсов, выбора структуры выпуска продукции, позволяющей получать максимальную прибыль при данных ресурсах; определения наилучшего варианта загрузки взаимозаменяемого оборудования; рационализации раскроя материалов; подбора наиболее эффективного состава компонентов в сплавах и смесях; определения такого сочетания между производственными (основными и оборотными) фондами и текущими затратами на производство, при котором приведенные затраты становятся минимальными; установления между поставщиками и потре-

бителями связей, минимизирующих транспортные издержки, и др.

На более высоких ступенях наряду с оптимизацией балансовых связей важнейшей задачей становится повышение эффективности капитальных вложений, на высшей ступени — определение оптимального соотношения между накоплением и потреблением, повышение эффективности законодательных мер.

Итерационный метод может привести к конечному результату только в том случае, если нижние звенья будут принимать решения, наилучшие с точки зрения верхних. Это требует использования внизу оценок, данных сверху. Поэтому вопросы построения оценок играют важнейшую роль. Их значение можно показать на элементарно простой транспортной задаче.

Пусть ресурсы поставщиков x и y (в тоннах), потребности потребителей А и Б (в тоннах) и затраты (в рублях) на перевозку 1 т от x и y к А и Б характеризуются данными табл. 12.

Судя по таблице, поставщик x выгоднее и для А и для Б. Возникает вопрос, как закрепить за потребителями поставщиков, чтобы совокупные затраты были наименьшими?

Для ответа на него представим в табл. 13 возможные варианты связи и определим общие затраты на перевозку.

Из таблицы видно, что вариант II для А ∪ Б и для Б лучше, но хуже для А. Таким образом, между А и Б, а также между А и А ∪ Б возникает противоречие, разрешение которого зависит уже не от различий в затратах на перевозки, а от различий в инициативе потребителей.

Учитывая, что при оптимальном распределении (ва-

Таблица 12

Показатели	Поставщики		Потребители	
	x	y	А	Б
Ресурсы, т	20	80	—	—
Потребности, т	—	—	40	60
Затраты на перевозку, руб.				
от x	—	—	2	1
от y	—	—	3	4

Таблица 13

Показатели	Вариант I		Вариант II	
	А	Б	А	Б
Объем перевозок, т				
от x	20	—	—	20
» y	20	60	40	40
Затраты на перевозки, руб.				
от x	40	—	—	20
» y	60	240	120	160
Итого затрат, руб.	100	240	120	180
» по вариантам	340		300	

риант II) на каждую тонну поставщика x приходится 2 руб. экономии ($340 - 300 = 40$; $40 : 20 = 2$), можно эти 2 руб. прибавить к затратам на перевозку от x .

Тогда получим новые цены $\begin{pmatrix} 4 & 3 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}$ и новые затраты по тем же вариантам. Они приводятся в табл. 14.

Таблица показывает, что вариант II стал эффективнее для всех. Противоречие исчезло. Но вместе с тем образовалось 40 руб. фиктивных затрат. Их можно снять с поставщика y по 0,5 руб. с 1 т ($40 : 80 = 0,5$), установив цены $\begin{pmatrix} 4 & 3 \\ 2,5 & 3,5 \end{pmatrix}$, после чего, получив 40 руб. в виде прибыли с поставщика x , отдать их в виде дотации поставщику y .

Однако при введении дотаций показатель объема работ сразу же вступает в противоречие с показателем дотации: чем выше объем, тем больше сумма дотации. Рост объема это хорошо, а увеличение дотации плохо. Поэтому появляются доказательства целесообразности установления цен на уровне наиболее высоких затрат. «Установление цен по предельным затратам,— пишет академик Н. П. Федоренко,— есть в то же время уста-

Таблица 14

Показатели	Вариант I		Вариант II	
	А	Б	А	Б
Затраты на перевозки, руб.				
от x	80	—	—	60
» y	60	240	120	160
Итого затрат, руб.	140	240	120	220
» по вариантам	380		340	

новление цен в соответствии с общественной потребностью продукции. Это объясняется ... тем, что предельные затраты фактически показывают, насколько полезен продукт для общества, какую цену оно готово заплатить за обладание дополнительной единицей этого продукта» (39, стр. 38, 39).

По этим соображениям стоимость перевозки 1 т всех продуктов в нашем примере должна составлять 4 руб. Тогда для потребителей совершенно безразлично, кто у них будет поставщиком: в любом случае он платит по 4 руб. за 1 т. Проблема, таким образом, переходит к поставщикам.

Не трудно посчитать, что при первом варианте перевозок прибыль у x будет 40 руб., у y — 20 руб., при втором варианте — соответственно 60 и 40 руб. Таким образом, вариант II оказывается эффективнее для обоих поставщиков, а значит и для их совокупности.

Но при этом по первому варианту образуется 80, по второму — 100 руб. фиктивных затрат. В себестоимость продукции А и Б войдет теперь не 300 руб., затраченных на перевозки при оптимальном плане, а 400 руб., из которых 100 руб. — фикция. И в отношении совпадения интересов такой метод построения цен ничего не дает.

В приведенном примере вариант II случайно оказался одинаково эффективным для всех. Достаточно изменить себестоимость перевозок и результат изменится.

Так, при себестоимости $\begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}$ и цене $\begin{pmatrix} 4 & 4 \\ 4 & 4 \end{pmatrix}$ первый

вариант по совокупным затратам оказывается эффективнее, но поставщик y по первому варианту получает 20, а по второму — 40 руб. прибыли. Противоречие, следовательно, налицо, но проявилось оно не у потребителей, а у поставщиков грузов.

Следовательно, выход не в установлении цен на уровне максимальных затрат. Принципы построения цен, позволяющие находить на местах правильные с точки зрения высших ступеней решения, достаточно убедительно иллюстрируются при решении задач методами линейного программирования. К таким оценкам относятся и так называемые объективно обусловленные оценки.

Объективно обусловленные оценки работ (продукция, перевозки, услуги) и ресурсов (оборудование, мате-

риалы, рабочее время) — показатели, формирующиеся в процессе построения оптимального плана и опосредующие этот процесс. Они находятся в зависимости от заданной конкретной структуры работ и конкретного наличия производственных ресурсов. При этом они обладают и известной устойчивостью при изменениях в определенных пределах конкретной обстановки (заданий и ресурсов). Это дает возможность оперативно решать вопросы, возникающие в процессе реализации плана, постоянно соблюдая принцип наилучшего использования ресурсов.

При обычно практикуемой оценке работ (по себестоимости) и ресурсов (по прейскурантным ценам) индивидуальные интересы часто вступают в противоречение с общественными. Природный газ, например, при действующих в настоящее время тарифах и ценах для отдельного производителя выгоднее любого другого топлива. При ограниченных же ресурсах природного газа замена им других видов топлива экономически оправдана лишь там, где получено больше экономии на единицу потребляемого газа. При выборе топлива на основе использования объективно обусловленных оценок природный газ оказывается эффективным не у всех, а именно у тех потребителей, у которых в совокупности образуется наибольший эффект при полном использовании всех имеющихся ограниченных ресурсов природного газа.

В условиях социализма количественные методы анализа и построения ценностных показателей, обеспечивающих органическое сочетание интересов социалистического общества и его отдельных ячеек, приобретают особое значение. Поэтому не случайно в СССР метод решения таких задач превратился в самостоятельную научную дисциплину. Основные результаты в области линейного программирования были получены в 1938—1939 гг. советским ученым Л. В. Канторовичем, который в дальнейшем дал стройную методику расчета объективно обусловленных оценок, показал их экономическую сущность и область эффективного применения.

Но вместе с тем эти решения приемлемы пока лишь для локальных участков производства. В масштабах народного хозяйства, как уже указывалось, наблюдается как бы два уровня ограничений. К первому относятся средства производства, ко второму — трудовые ресур-

сы. Первые преодолеваются затратами рабочего времени, их рамки раздвигаются целенаправленной трудовой деятельностью. В конечном счете труд оказывается единственным ограничением. Поэтому только количество труда, овеществленное в продукте с учетом затрат на преодоление ограничений в средствах производства, может стать основой образования цен производства.

В условиях товарного производства эти цены формируются под воздействием закона стоимости без применения специальных математических методов и вычислительной техники. Развитие капиталистических монополий, как упоминалось выше, существенно снижает эффективность действия закона стоимости. Обобществление средств производства ликвидирует условия для его действия как регулятора и порождает необходимость оптимального планирования в рамках всего народного хозяйства.

Но означает ли это, что закон стоимости в условиях социализма можно забыть? На этот вопрос почти все экономисты отвечают отрицательно, но указывают, что закону стоимости нужно дать ограниченный простор. В экономической литературе ведется спор о широте рамок ограничений, высказывается мнение, что закон стоимости можно совместить с плановым ведением хозяйства, отождествить с его действием любое стимулирование и т. д.

В нашем представлении закон стоимости может действовать только в условиях частной собственности на средства производства и проявлять себя только там, где ослабевают плановые начала. К уравниванию спроса и предложения розничной ценой в социалистическом обществе закон стоимости не имеет никакого отношения. Если такого равновесия нет, то закон стоимости сразу же проявляется в виде различных частных услуг, спекуляции и т. д.

Однако принципы действия этого регулятора вполне могут быть использованы при решении вопросов планового развития хозяйства. Поэтому имитация действия закона стоимости может оказаться весьма полезной для построения оптимальных планов функционирования и развития социалистической экономики и адекватных им оценок — цен производства. Подобная имитация, повидимому, ограничится только определением цен равнове-

сия (розничных) и направлений изменения структуры потребительского продукта в зависимости от соотношения между ценами равновесия и ценами производства.

Вне всякой связи с законом стоимости определяется количественная мера приращения продукции, предназначенной для удовлетворения общественных непродовственных потребностей (просвещение, здравоохранение, культура, оборона и т. д.); ограничений производственных и трудовых ресурсов при установленных режимах их функционирования; распределения между накоплением и потреблением, и наконец, потребностей производственного назначения. Последние имеют тесную технологическую связь с рассмотренными выше, и поэтому здесь все сводится к расчету, использованию технологических данных и математических методов, позволяющих найти такой вариант технологических, транспортных и других хозяйственных связей, при котором в рамках всех имеющихся ограничений обеспечивается максимальное приращение функции потребления.

Глава V

ОПТИМАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ХОДА ПРОИЗВОДСТВА

В данной главе рассматриваются общие вопросы оптимального календарного планирования и его место в регулировании. В ней кратко излагаются сетевое планирование для индивидуального и непрерывное производственное планирование для серийного производства. Это наиболее законченные, широко применяемые в практике, особенно перспективные методы разработки общих принципов оптимального календарного планирования и регулирования хода производства. В поточном производстве проблемы календарного планирования практически не существует, но проблема регулирования остается. Наиболее многообещающее средство выбора оптимальных параметров и методов регулирования — машинно-математическое моделирование процессов на ЭВМ, кратким изложением которого заканчивается эта глава.

1. Общие положения

Важнейшей функцией регулирования, как и управления, является планирование. Регулирование, как уже указывалось, призвано обеспечить выполнение плановых заданий путем учета, анализа и корректирования хода производства внутри планируемого отрезка времени. Поэтому оно основано прежде всего на календарном планировании, устанавливающим внутри планируемого периода такую последовательность работ, при которой обеспечивается выполнение объемного задания. Вариантов распределения работ во времени может быть много. Из них необходимо выбрать наилучший, т. е. оптимальный. Это значит, что после разработки оптимальных объемных заданий планирование выполнения их во времени также связано с оптимизацией принимаемых решений.

В качестве первой методологической предпосылки оптимального регулирования принимается то, что объемный план (т. е. задания по производству и ограничения по производственному потреблению, установленные на планируемый отрезок времени), а также оценки всех видов ресурсов являются оптимальными и исходными для построения оперативно-календарного плана.

Вторая методологическая предпосылка состоит в том, что любая работа, требуя всегда определенного, но не всегда точно известного наперед времени, может быть начата только после выполнения некоторых предшествующих работ и в свою очередь предшествует началу или окончанию некоторых последующих работ. Эта предпосылка связана как с технологическими особенностями производственного процесса, так и ресурсами (пропускная способность оборудования, наличие сырья, материалов, полуфабрикатов и рабочей силы). В первом случае последовательность работ строго определена, во втором возможны различные варианты последовательности, но не все они могут оказаться экономически равнозначными. Таким образом, технологическая последовательность работ рассматривается как ограничение, а распределение их во времени и пространстве, обеспечивающее наилучшее использование ресурсов,— как искомое решение задачи.

Третья методологическая предпосылка заключается в том, что под наилучшим вариантом использования ресурсов понимается тот, при котором заданный объемным планом объем работ выполняется при наименьших приведенных затратах (текущие затраты плюс стоимость занятых производственных фондов, умноженная на нормативный коэффициент эффективности затрат). В расчетах, следовательно, фигурируют две оценки: цены, когда речь идет о текущих затратах, и цены, умноженные на нормативный коэффициент эффективности затрат, когда речь идет о затратах, связанных с использованием производственных фондов, в том числе незавершенного производства.

Четвертая методологическая предпосылка отражает те обстоятельства, что любой, в том числе и «самый оптимальный», объемный или календарный план не может точно предвидеть реальный ход событий, поскольку события стохастических процессов учитываются в объем-

ных планах средней величиной, а в реальной действительности они либо встают во весь рост, либо отсутствуют вовсе. Из этого следует необходимость построения не только идеального оперативного плана, но и плана *оптимального перехода* от фактического состояния к идеальному.

Такой подход позволяет обеспечить постоянное приближение реального хода производства к идеальному. Различие между ними окажется тем меньше, чем чаще будет составляться расчет плана оптимального перехода и регулирование на этой основе фактического хода производства. Это обстоятельство так же, как и сложность расчетов, свидетельствует о необходимости автоматизации управления производством, создания таких автоматизированных систем управления, в которых сбор и накопление оперативных данных о фактическом ходе производства и переработка их в плановые оперативные задания были бы автоматизированы. Наиболее перспективным в этом отношении является симбиоз автоматических датчиков и других автоматизированных средств ввода информации, электронных цифровых вычислительных машин для накопления информации и оценки параметров, определяющих оперативные задания, и аналоговой вычислительной техники, выдающей на основе быстрой переработки поступающей информации данные о том, что нужно делать в момент их выдачи.

В конечном счете в основе регулирования лежит задача выбора из множества подлежащих выполнению работ той, которая должна выполняться в данный момент, чтобы все множество выполнить в кратчайшее время и с наименьшими затратами. Под моментом времени можно подразумевать бесконечно малый промежуток (минута, час, день, месяц, год и т. д.) в зависимости от шага управления, но при всем этом необходимо знать, что должен делать каждый работник сейчас, чтобы ход производства был оптимальным с точки зрения решения народнохозяйственных задач на далекую перспективу. Эти задачи в свою очередь могут быть обоснованными только в результате обобщения данных о фактическом ходе производства за истекший и о его состоянии в данный период.

Разработка оптимальных календарных планов — сложная задача как в смысле достаточно четкой поста-

новки, так и математического решения. До сих пор нет такого алгоритма календарного планирования, который мог бы применяться во всех случаях жизни. Это связано с тем, что методы календарного планирования, основанные на общих методологических принципах, заметно различаются при различном характере конкретно рассматриваемого производства.

Эвристических алгоритмов календарного планирования разработано уже много и описаны они довольно подробно (18, 23). Попытаемся изложить лишь некоторые методы, принципиальные положения которых наиболее общи для многих других методов и перспективны с точки зрения применения их в производственной практике.

2. Сетевые методы планирования и управления

Любую работу можно представить в виде отрезка прямой, длина которого выражает длительность работы. Концы множества таких отрезков, относящихся к единому комплексу, могут быть соединены между собой (в соответствии с последовательностью выполнения работ) в одну сеть. Возможность изображения любого комплекса технологически взаимосвязанных работ в виде сети и лежит в основе сетевых методов планирования и управления, кратко именуемых СПУ.

СПУ представляет собой комплекс планирования, учета, анализа и регулирования хода работ. Поэтому когда говорят о сетевых методах планирования и управления, то допускают неточность: планирование, так же как учет, анализ и регулирование, входит в управление. Следовательно, вполне достаточно вести речь о сетевых методах управления. Тем не менее будем придерживаться уже привычной, хотя и не точной, терминологии — СПУ.

Происходит СПУ от системы ПЕРТ (техника оценки и контроля программ), появившейся в 1958 г. в США, где значимость ее внедрения ставилась в один ряд с решением таких проблем, как освоение космоса, создание баллистических ракет и др. С помощью системы ПЕРТ в США выполняется около 50% проектно-конструкторских работ, 12% программирования для ЭВМ, 12% административных мероприятий (организация конференций и съездов, составление отчетов, докладов и т. д.),

12% ремонтных и 15% прочих работ (вплоть до управления постановками фильмов и спектаклей).

В развитии сетевых методов можно выделить три этапа: а) управление только временными показателями (сроками) ведения работ (ПЕРТ — время); б) управление временными показателями в увязке с определяющими их затратами (ПЕРТ — стоимость); в) управление одновременно несколькими технологически независимыми программами, выполнение которых связано с использованием общих для них ограниченных ресурсов (РАМПС, СКАНС и др.). Третий этап еще не получил такого завершения, чтобы можно было широко реализовать в производстве его результаты.

У нас разработки аналогичных систем управления находятся главным образом на уровне первого этапа. Используются они в основном в управлении проектными работами и строительством крупных объектов (метро в Киеве, Старобинский химический комбинат в БССР и др.).

Для социалистической экономики наиболее важен третий этап. Если при капитализме военное ведомство, например, составляет сетевой план выполнения своих заказов по данным о сроках работ, получаемым от подрядчиков, то все остальные работы подрядчиками выполняются с ориентацией на рынок, в свободное от работ по сетевому графику военного ведомства время. Таким образом, в стихию товарного производства как бы внедряется целеустремленная программа работ, объединяющая на планомерной основе деятельность множества разобщенных товаропроизводителей.

При реализации единого плана сразу становятся очевидными преимущества планового ведения работ и количество желающих действовать по общим программам быстро растет. В результате появляется множество конкурирующих программ, вскрываются противоречия капиталистического способа производства, появляются трудности одновременного управления несколькими программами, становится очевидной необходимость планового ведения всего хозяйства, а стало быть и социалистического обобществления средств производства.

В условиях планового ведения хозяйства система управления отдельными программами вступает в противоречие с требованиями обобществленного производства

и поэтому применяется весьма ограниченно. Но вместе с тем оптимальное управление общественным производством, преследуя цель максимального удовлетворения потребностей общества при ограниченных ресурсах, не может не считаться с технологической последовательностью работ, образующих сеть, а также с наличием множества таких сетей, подлежащих взаимодействию при построении общей программы наилучшего использования ресурсов.

Поэтому изучение сетевых методов планирования и управления как универсальной основы построения оптимальных оперативно-календарных планов имеет не меньшее значение, чем внедрение их в хозяйственную практику. В связи с этим рассмотрим общие принципы построения, основные параметры и некоторые особенности применения сетевых графиков.

Построение сетевых графиков

Прототипом СПУ являются временные диаграммы, или графики Ганта (рис. 19).

Из рисунка видно, что работа I начинается в первый же день и длится 14 дней, работа II длится с начала пятого до конца 10-го дня и т. д. Такие графики обычно применяются для того, чтобы спланировать загрузку оборудования, выполняющего неодновременно несколько разных работ. Когда окончание одной работы совпадает с началом другой, просто и наглядно определяются общее время выполнения всех работ, даты начала и окончания каждой из них.

Если точку начала и точку окончания каждой из работ именовать событиями, а отрезки между ними — работами, выраженными в единицах времени, то будут по-

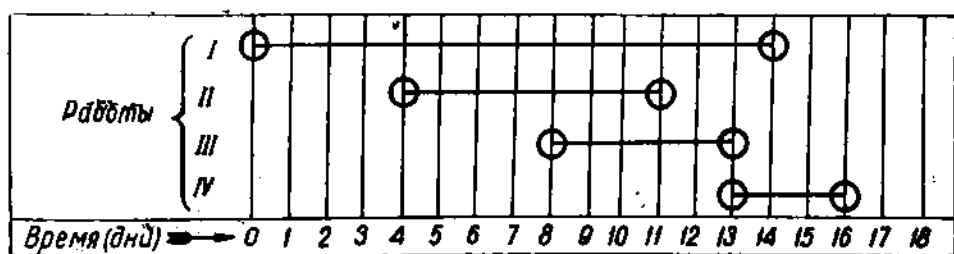


Рис. 19. График выполнения работ

лучены те важнейшие понятия, которые лежат в основе построения сетевых графиков: события и работы (действия).

Событие — это момент перехода в программе от одной работы к другой. Оно не имеет длительности. *Работа* — это длительность деятельности между двумя событиями программы, выраженная в часах, днях, неделях, месяцах и т. д.

По графику Ганта события связаны между собой только работами, а связи между работами (рис. 19) не отражены. Если таких связей нет, то никакой сети и не требуется. Однако в комплексах взаимосвязанных работ начало или конец одной из них обычно зависит от других. Предположим, что в рассматриваемом графике Ганта работа II не может быть начата раньше, чем через два дня после начала работы I, работа III — через пять дней после начала работы I и через четыре дня после начала работы II и т. д., работа III может быть закончена не раньше, чем через три дня после окончания работы II, работа IV — через один день после окончания работы III и не раньше, чем закончится работа I. Разместить работы с такими связями в сетке Ганта трудно, поскольку начало и конец каждой из них не всегда оказываются в одной и той же точке времени.

Поэтому временная шкала и масштабность длительности работ устраняются. Вместо них ставятся числа, обозначающие длительность работ, а отрезки превращаются в стрелки, направленные от *предшествующего* события (начало) к *завершающему* (конец работы). В кружках (или квадратах), изображающих события, проставляются их порядковые номера или другие обозначения. Вводятся обозначения работ P_{ij} , где i — предшествующие, j — завершающие события.

Так образуется сеть, изображенная на рис. 20. Пунктирные стрелки с числами показывают, что события на остриях могут следовать за событиями у их оснований только по истечении времени (в днях), указанного на стрелках. Любая связь событий, указанная пунктирными стрелками, устанавливается при вполне определенном ходе работ, изображенных сплошными стрелками. Поэтому работы делятся на этапы, выполнение которых обязательно. Иначе связь между событиями нарушается. Если работа II, например, может быть начата через

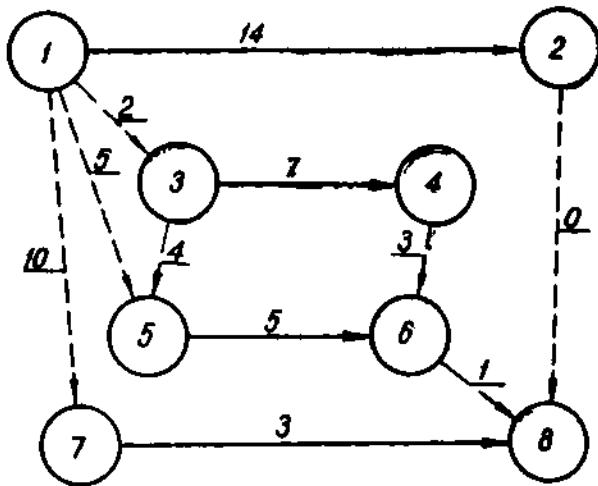


Рис. 20. Сеть работ, изображенных на рис. 19

два дня после начала работы I, то из всего объема работы I должен быть выделен тот, который обеспечивает начало работы II, т. е. работа I делится на I_a — два дня и I_b — 12 дней.

Разделение работ на этапы в соответствии с их связями, изображенными на рис. 20, показано на рис. 21. В этой сети пунктирные стрелки переместились основаниями или остриями на вновь введенные события, означающие окончание одних и начало других этапов. На

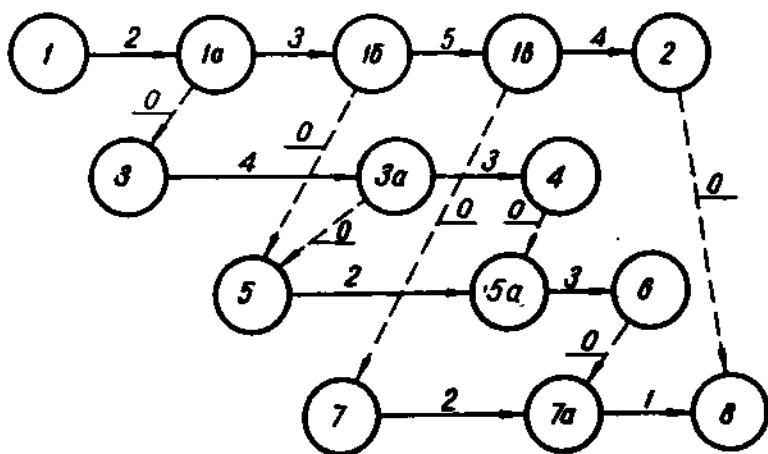


Рис. 21. Разделение на этапы работ, изображенных на рис. 20

пунктирных стрелках появились нули. Это значит, что данные связи превратились в так называемые фиктивные работы.

Под *фиктивной* работой подразумевается связь между событиями на различных ветвях сети, показывающая, что событие у основания стрелки должно наступить до события у ее острия или вместе с ним. Одна цепь событий, например, ведет к изготовлению машины, другая — к изготовлению стенда для ее испытания. Если окончание их из-за взаимосвязи с другими работами нельзя привести к одному событию, то между ними вводится пунктирная стрелка с нулевой длительностью, основание которой на событии «окончание стенда», а острие упирается в событие «изготовление машины». Поскольку стенд предназначается для машины, он должен быть изготовлен раньше нее или вместе с ней.

Все взаимосвязи между различными событиями и работами, изображенные на рис. 21, представлены в виде сети, лежащей в основе СПУ. Таким образом, *сеть* — это изображение комплекса взаимосвязанных между собой работ и событий, показывающее движение работ от *исходного* (первого) события к *конечному* (последнему). Размер сети определяет степень дробления программы на отдельные работы и события.

Наложив события, связанные фиктивными работами, одно на другое так, чтобы между любыми двумя событиями не оказалось двух или больше работ и чтобы работы не замкнулись в кольцо, получим более изящную сеть, изображенную на рис. 22 а. Заменяв после этого номера событий (рис. 22 б), получим окончательно построенную сеть.

Работы сети, изображенной на рис 22 б, имеют следующую связь с прежними работами (рис. 19, 20, 21): P_{1-2} — первый этап работы I; P_{2-4} — второй этап работы I; P_{4-6} — третий этап работы I; P_{6-8} — четвертый этап работы I; P_{2-3} — первый этап работы II; P_{3-5} — второй этап работы II; P_{4-5} — первый этап работы III; P_{5-7} — второй этап работы III; P_{6-7} — первый этап работы IV; P_{7-8} — второй этап работы IV; P_{3-4} — фиктивная работа, означающая, что событие 4 может наступить только после события 3 или вместе с ним.

Все этапы в схеме 22 б имеют значения отдельных работ.

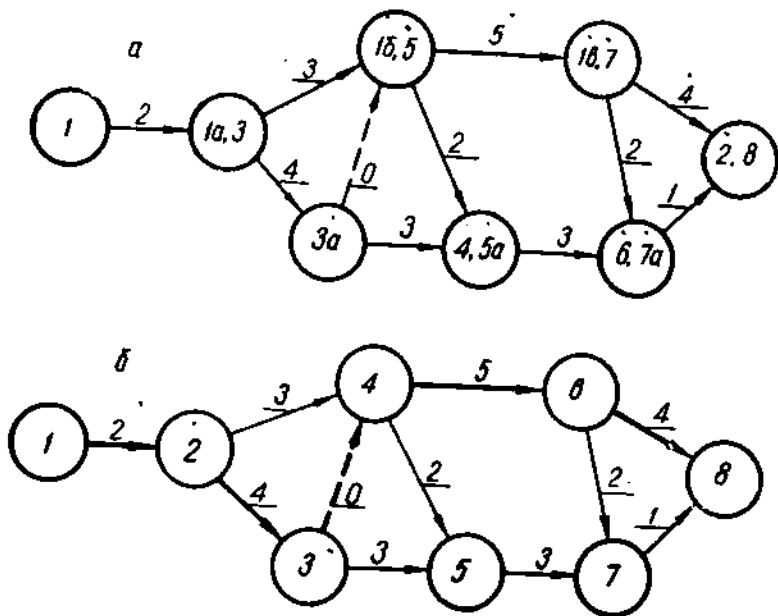


Рис. 22. Окончательная сеть работ, изображенных на рис. 20

Важнейшие параметры

После построения сети определяются ее важнейшие параметры: ранняя и поздняя даты событий, критический путь и резервы времени.

Ранняя дата — наибольшая длительность пути, соединяющего данное событие с исходным; **путь** — последовательность работ (стрелок) сети, включая фиктивные работы; **длительность пути** — сумма времен, проставленных на последовательно соединенных работах. Под **исходным** подразумевается первое (начальное) событие во всей сети.

Ранняя дата означает время, по истечении которого наступит данное событие при указанной длительности работ, лежащих на рассматриваемом пути. Если к событиям ведет несколько путей, то его раннюю дату определяет длительность работ, лежащих на самом длительном пути. Расчет ранних дат событий ведется последовательно (от события к событию), начиная от исходного. При этом в качестве слагаемых принимаются не длительность пути от исходного к данному, а ранняя дата ближайших событий, предшествующих данному, и длительность работ, связывающих данное событие с предшествующими (рис. 23). Наибольшая сумма и есть ранняя дата данного события.

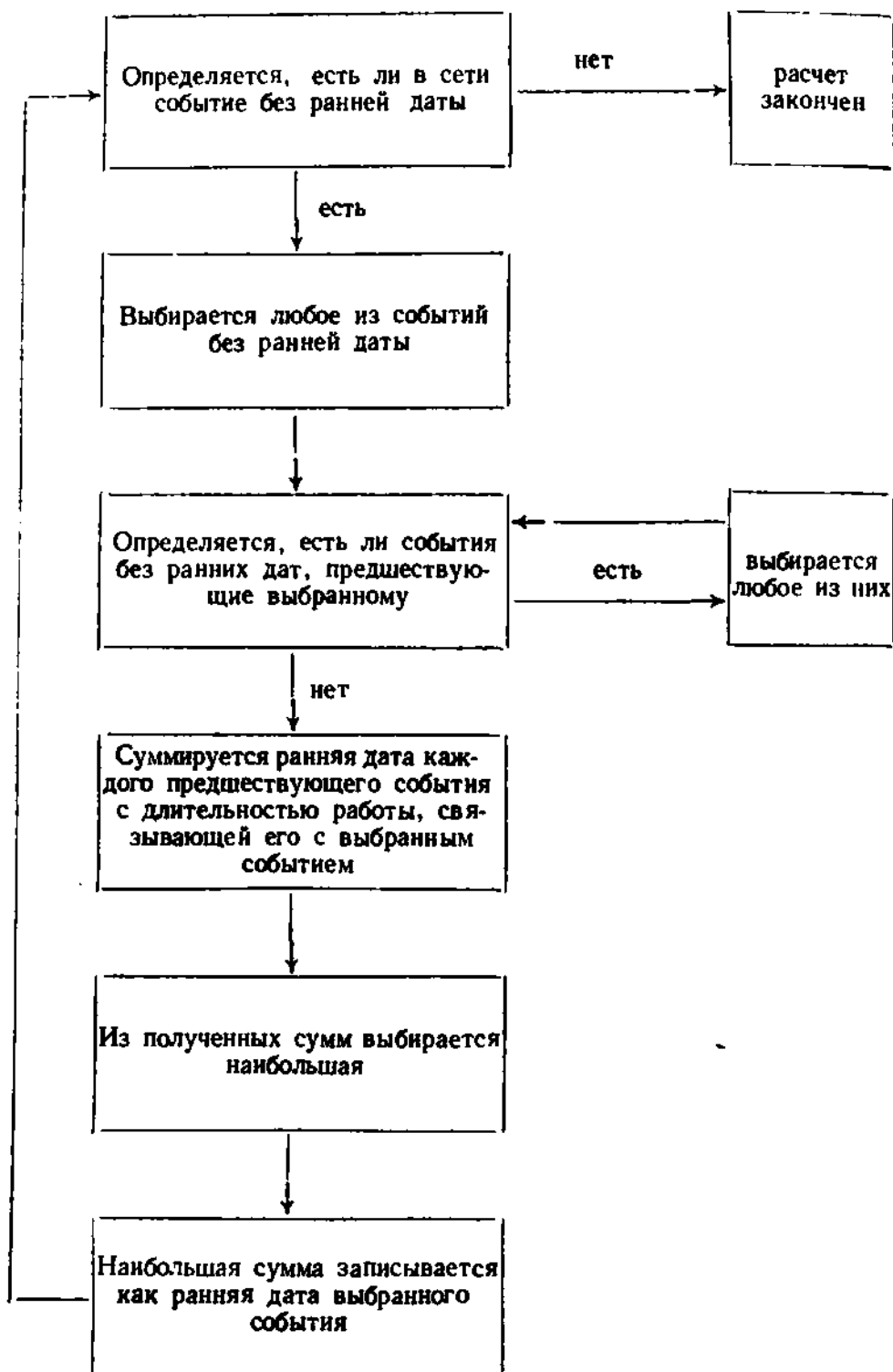


Рис. 23. Алгоритм расчета ранних дат событий сети

Поздняя дата событий — максимально допустимое время между данным и исходным событиями при условии сохранения ранней даты конечного события. *Конечное событие* — последнее (завершающее все работы) событие в сети. Поздняя дата означает, что при наступлении данного события в этой точке времени и при указанной длительности работ, лежащих на пути от данного события к конечному, конечное событие наступит в точке времени, соответствующей его ранней дате. Если от данного события к конечному имеется несколько путей, то позднюю дату определяет самый длительный из них. Расчет поздних дат ведется так же, как и ранних, но в обратном направлении — от конечного события к данному (рис. 24). За исходную точку отсчета принимается обычно ранняя дата конечного события.

В табл. 15 приведены ранние и поздние даты, рассчитанные для сети, изображенной на рис. 22 б.

Таблица 15

Даты	События							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ранняя	0	2	6	6	9	11	13	15
Поздняя	0	2	6	6	11	11	14	15

Из таблицы видно, что по некоторым событиям (1, 2, 3, 4, 6, 8) ранняя и поздняя даты совпадают. Они, следовательно, не могут наступить до своих ранних дат и не должны наступить позднее них. Иначе весь путь от исходного до конечного события увеличится. Через эти события проходит так называемый *критический путь* — наиболее длительный путь от исходного события к конечному, равный ранней дате конечного события. В рассматриваемой схеме он проходит через события 1, 2, 3, 4, 6, 8, изображен на рис. 22 б утолщенными стрелками и составляет 15 дней.

Критический путь позволяет видеть общий срок выполнения всей программы; выделить из всего комплекса работ и событий те, что определяют общую длительность выполнения программы и поэтому подлежат особому контролю; осуществить организационно-технические мероприятия по работам, лежащим на критическом пути, и сократить тем самым общее время выполнения про-

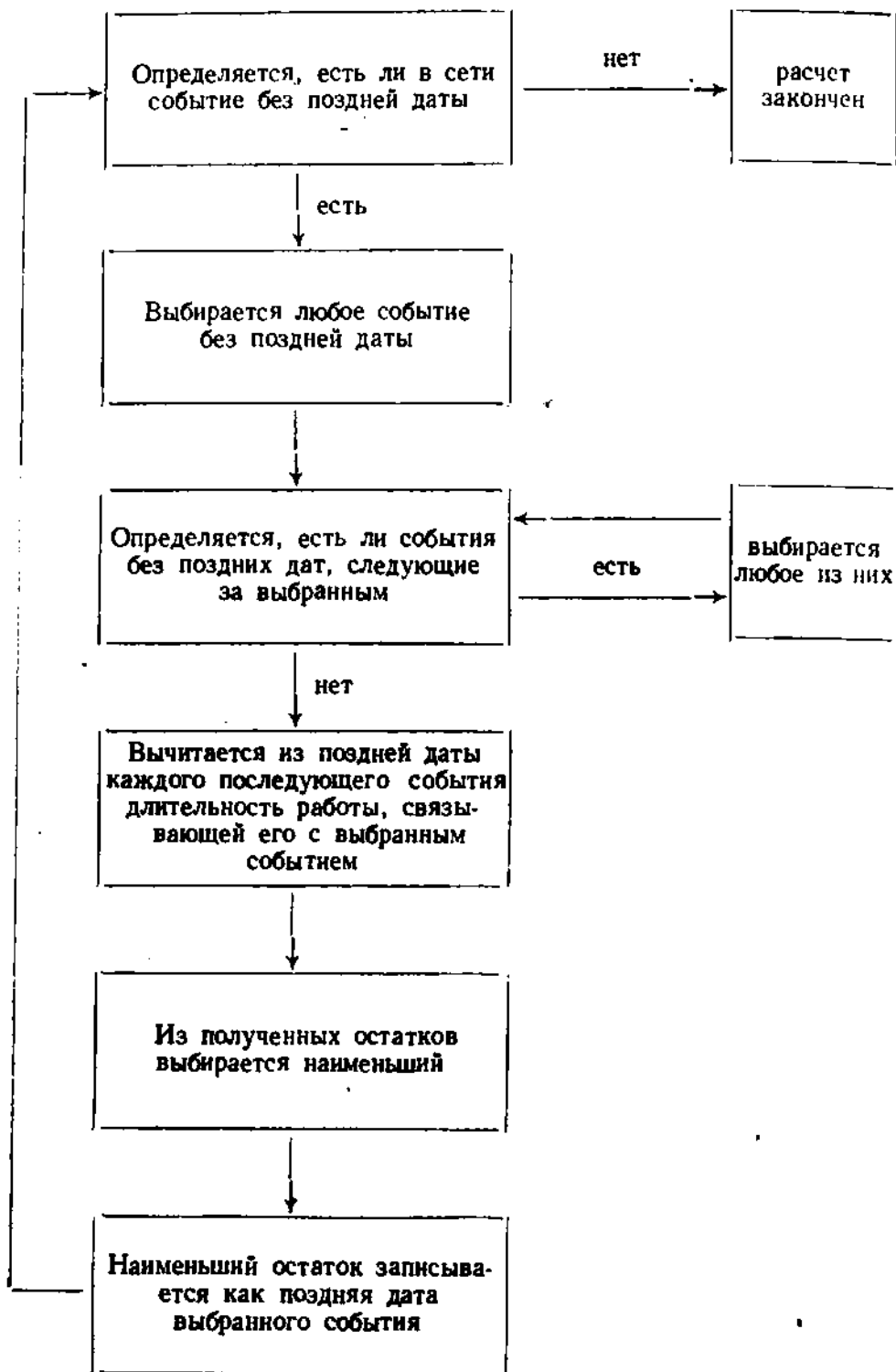


Рис. 24. Алгоритм расчета поздних дат событий сети.

граммы. К числу таких мероприятий относятся перераспределение ресурсов в пользу работ, лежащих на критическом пути, и перестройка, где это возможно, самой сети в направлении параллельного ведения работ вместо последовательного.

Различия между ранними и поздними датами образуют *резервы времени событий и работ*, выполняемых между этими событиями. Для событий критического пути различия равны 0, следовательно, для работ, составляющих критический путь, никаких резервов времени нет. Они должны выполняться в отведенное для них время. На работы, началом или завершением которых являются события на некритическом пути, может быть затрачено времени больше, чем указано на схеме, и это не увеличит общего срока выполнения всей программы.

Резерв времени события — это разность между поздней и ранней датами. Максимальное расстояние между датами после вычета времени работы, выполняемой между событиями, образует *полный*, а минимальное расстояние — *независимый* резерв времени этой работы. Разность между ранними датами завершающего и предшествующего событий после вычета времени работы, выполняемой между событиями, образует *свободный* резерв времени этой работы.

В табл. 16 приводятся резервы времени для событий и работ сети, представленной на рис. 22 б.

Таблица 16

Работы	Длительность в днях	Резерв времени в днях				
		для событий		для работ		
		i	j	полный	независимый	свободный
P_{1-2}	2	0	0	0	0	0
P_{2-3}	4	0	0	0	0	0
P_{2-4}	3	0	0	1	1	1
P_{3-4}	0	0	0	0	0	0
P_{3-5}	3	0	2	2	0	0
P_{4-5}	2	0	2	3	1	1
P_{4-6}	5	0	0	0	0	0
P_{5-7}	3	2	1	2	0	①
P_{6-7}	2	0	1	1	0	0
P_{6-8}	4	0	0	0	0	0
P_{7-8}	1	1	0	1	0	0

Чтобы более наглядно представить данные табл. 16, вернемся к графику Ганта и изобразим исходные работы в шкале времени с указанием всех видов резервов (рис. 25).

Работы критического пути показаны на графике утолщенными линиями. Длительность их совпадает с временной шкалой. Работы некритического пути запи-

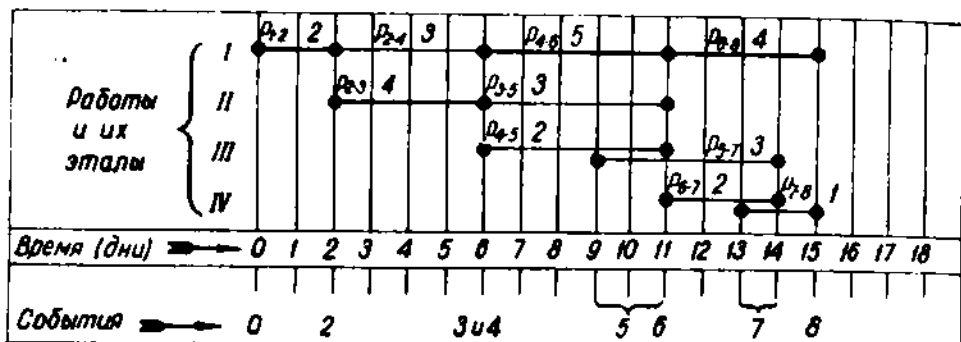


Рис. 25. График выполнения работ с учетом резервов

мают большие (по сравнению с их длительностью) участки временной шкалы, а события, не имеющие длительности, расположены на временной шкале в определенных пределах. Работа P_{2-4} , например, длительностью три дня может выполняться четыре дня; работа P_{4-5} длительностью два дня, может выполняться пять дней, но поглотит и резервы работы P_{5-7} , величина которых составляет два дня. Таким образом, этот резерв (2 дня) является общим для работ P_{4-5} и P_{5-7} . Если же учесть, что событие 7 является общим для окончания P_{5-7} , P_{6-7} и для начала P_{7-8} , то очевидно, что использование полного резерва времени по P_{4-5} лишает всякого резерва времени не только P_{5-7} , но и P_{7-8} , в связи с чем на эти работы может переместиться критический путь.

Путем наложения сети на временную сетку определяются календарные сроки выполнения работ и наступления событий. Зафиксированные при этом календарные точки свершения событий, имеющих резервы времени, определяют распределение резервов между работами, предшествующими этим событиям и следующими за ними, определяя резервы времени работ относительно плановых сроков выполнения. Эти резервы обычно и принимаются в расчет при определении напряженности работ.

Критический путь может отличаться от длительности работ, лежащих на некритическом пути, весьма незначительно уже при построении сети. Резервы этих работ могут приближаться к нулю также в ходе выполнения программы. Поэтому все сказанное о внимании к работам критического пути относится и к работам, лежащим на так называемых околокритических путях. С целью выделения работ сети, подлежащих контролю, вводится коэффициент их напряженности.

Под коэффициентом напряженности работ подразумевается отношение необходимого для выполнения работы времени к календарному, в течение которого она может быть выполнена. Этот коэффициент определяется и используется по-разному в различных системах оперативно-календарного планирования и регулирования хода производства. Одна из формул его расчета в СПУ имеет следующий вид:

$$H = 1 - \frac{\Phi\Pi}{P}, \quad (40)$$

где H — коэффициент напряженности работ; Φ — коэффициент отбора работ для контроля; Π — полный резерв времени работы; P — длительность работы.

Формула (40) позволяет исключать из-под контроля те работы, напряженность которых получает отрицательный знак ($H \leq 0$), а результат зависит от Φ , Π и P . Полный резерв времени Π и длительность работ P берутся из сети, а Φ устанавливается с таким расчетом, чтобы под контроль попадали работы с Φ — кратким отношением длительности к полному резерву времени.

Если, например, признано целесообразным брать под контроль работы с полным резервом времени, составляющим

10% их длительности $\left(\frac{\Pi}{P} = 0,1\right)$, то принимается $\Phi = 10$

$\left(\frac{P}{\Pi} = 10\right)$. Тогда для всех работ с $\frac{\Pi}{P} = 0,1$ коэффициент

напряженности $H = 0$, при $\frac{\Pi}{P} > 0,1$ $H < 0$, при $\frac{\Pi}{P} < 0,1$

$H > 0$, при $\Pi = 0$ $H = 1$. Таким образом, все работы с $\frac{\Pi}{P} \geq$

$\geq 0,1$ не попадают под контроль, а из работ с $\frac{\Pi}{P} < 0,1$ по

величине H можно видеть более и менее напряженные. Коэффициент отбора Φ может принимать несколько значений для одной и той же сети, различных для различных ступеней управления. Чем выше ступень управления, тем выше значение Φ .

Если для сети (рис. 22 б) принять $\Phi = 1,2$, то получим величину коэффициента напряженности работ H , приведенную в табл. 17.

Таблица 17

	Работы										
	P_{1-2}	P_{2-3}	P_{2-4}	P_{3-4}	P_{3-5}	P_{4-5}	P_{4-6}	P_{5-7}	P_{6-7}	P_{6-8}	P_{7-8}
H	1	1	0,6	—	0,2	—	1	—	0,4	1	—

Табл. 17 показывает, что работы P_{1-2} , P_{2-3} , P_{4-6} , P_{6-8} не имеют резервов времени, ибо лежат на критическом пути; из работ не критического пути наибольшего внимания заслуживает P_{2-4} . За нею следуют P_{6-7} и P_{3-5} . P_{3-4} (фиктивная). P_{4-5} , P_{5-7} , P_{7-8} вообще на данной ступени управления не включаются в сферу контроля и регулирования.

В ходе выполнения программы в сеть вводятся коррективы, отражающие данные о фактическом состоянии работ. По этим данным заново определяются все параметры сети, включая напряженность работ. Это позволяет в ходе выполнения программы оперативно переключать внимание с одних работ на другие в соответствии с получаемыми результатами.

После восьми дней работы по рассматриваемой сети

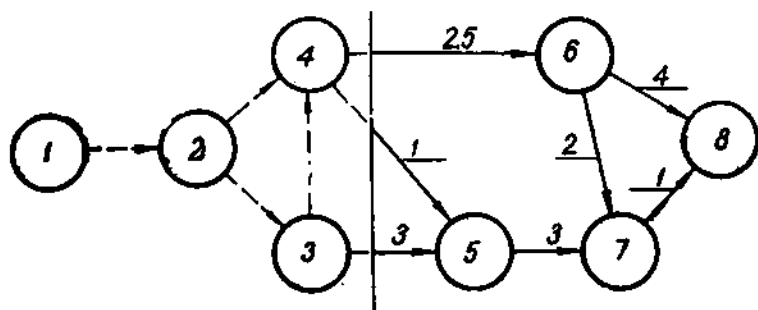


Рис. 26. Объемы работ, оставшиеся после восьми дней выполнения программы

Таблица 18

События	Даты в днях		Резерв, дни
	ранняя	поздняя	
5	3,0	3	0,0
6	2,5	3	0,5
7	6,0	6	0,0
8	7,0	7	0,0

Таблица 19

Работы	Оставшаяся длительность, дни	Полный резерв времени, дни	Напряженность при $\Phi=1,2$
P_{3-5}	3,0	0,0	1,00
P_{4-5}	1,0	2,0	—
P_{4-6}	2,5	0,5	0,76
P_{5-7}	3,0	0,0	1,00
P_{6-7}	2,0	1,5	0,28
P_{6-8}	4,0	0,5	0,85
P_{7-8}	1,0	0,0	1,00

(рис. 22 б) выяснилось, например, что P_{1-2} , P_{2-3} , P_{3-4} выполнены полностью, P_{4-5} и P_{4-6} — наполовину, а P_{3-5} не начата. Сеть, составленная по этим данным, изображена на рис. 26, а параметры ее приведены в табл. 18 и 19.

Сравнение табл. 17 и 19 позволяет выявить все изменения в напряженности работ за восемь дней выполнения программы. Следует, в частности, заметить, что общий срок выполнения программы (15 дней) не изменился, а критический путь переместился на работы P_{3-5} , P_{5-7} , P_{7-8} , из которых две последние до начала работ даже не были подконтрольными.

Вероятность выполнения работ в намеченное время

На практике длительность работ известна подчас весьма приблизительно. Это связано с тем, что в прошлом одинаковые работы выполнялись за различное время или в сеть включаются работы новые, малоизученные. Поэтому в системе ПЕРТ практикуется использова-

ние вероятностных экспертных оценок и определение вероятностей наступления событий в тот или иной срок.

В этих случаях специалисты на основе своих личных интуитивных соображений называют три оценки длительности работ: минимальную (оптимистическую), максимальную (пессимистическую) и наиболее вероятную (реалистическую). На основании таких оценок определяется по формуле средняя ожидаемая длительность работ

$$P = \frac{a + 4m + b}{6},$$

где P — расчетная длительность работ; a — минимальная оценка; m — наиболее вероятная оценка; b — максимальная оценка.

Полученная по этой формуле длительность работ используется для построения сети и анализа всех ее параметров.

Учитывая приближенность исходных данных, субъективность оценок и эмпиричность принятой формулы, в системе ПЕРТ в качестве оценки дисперсии принимается величина $\sigma^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2$.

При этом время наступления любого события распределяется по закону Гауса (его среднее значение равно сумме средних значений длительности работ, лежащих на пути к событию) и дисперсией, равной сумме дисперсий этих работ. Имея среднее значение времени наступления события и его дисперсию, можно определить вероятность наступления события в любую дату. Для этого разность между интересующим и средним значением времени делится на среднее квадратическое отклонение и по таблице нормального распределения находится значение вероятности, соответствующее полученному результату.

Предположим, что длительность работ сетевого графика, изображенного на рис. 22 б, получена на основе экспертных оценок, приведенных в табл. 20.

В таблице приводятся также результаты расчета квадратических отклонений и дисперсий. Как уже указывалось, критический путь в рассматриваемой схеме проходит через работы P_{1-2} , P_{2-3} , P_{3-4} , P_{4-6} и составляет

Работы	Длительность работ, дни				Квадратическое отклонение $\sigma = \frac{b-a}{6}$	Дисперсия σ^2
	<i>a</i>	<i>m</i>	<i>b</i>	$\frac{a+4m+b}{6}$		
P _{1-2*}	0,8	1,8	4,0	2	0,53	0,28
P _{2-3*}	2,2	4,2	5,0	4	0,47	0,22
P ₂₋₄	1,2	3,2	4,0	3	0,47	0,22
P _{3-4*}	—	—	—	—	—	—
P ₃₋₆	2,4	2,9	4,0	3	0,27	0,07
P ₄₋₅	1,0	8,9	3,4	2	0,40	0,16
P _{4-6*}	2,8	1,8	8,0	5	0,87	0,75
P ₆₋₇	1,2	3,1	4,4	3	0,53	0,28
P ₆₋₇	0,6	2,1	3,0	2	0,40	0,16
P _{6-8*}	2,8	3,8	6,0	4	0,53	0,28
P ₇₋₈	0,4	0,9	2,0	1	0,27	0,07

*Работы, лежащие на критическом пути.

15 дней. Предположим, что на выполнение всей программы запланировано 17 дней. Какова вероятность выполнения программы за этот срок?

Для определения этой вероятности складываются значения дисперсий для работ критического пути: $0,28 + 0,22 + 0 + 0,75 + 0,28 = 1,53$; определяется квадратическое отклонение среднего значения времени наступления конечного события: $\sigma_{\kappa} = \sqrt{1,53} = 1,24$; вычисляется величина $\alpha = \frac{17 - 15}{1,24} = 1,6$ и по табл. 21 находится вероятность вы-

полнения программы за 17 дней.

При $\alpha = 1,6$ она равна 0,9452.

Аналогично могут быть рассчитаны вероятности выполнения всех работ в установленные сроки, характеризующие их напряженность.

В нашей практике плановые задания основываются на прогнозировании, обеспечивают координацию производственных процессов и играют огромную мобилизующую роль. Первое обстоятельство требует исследования вероятностных событий и процессов, два вторых, особенно последнее, признают в качестве вероятности выполнения плана только единицу. Это мобилизует исполнителей на выполнение плана, но не способствует выявлению всех возможностей производства при планировании заданий.

α	Вероятность	α	Вероятность
-3,0	0,0013	0,1	0,5398
-2,9	0,0019	0,2	0,5793
-2,8	0,0026	0,3	0,6179
-2,7	0,0035	0,4	0,6564
-2,6	0,0047	0,5	0,6915
-2,5	0,0062	0,6	0,7257
-2,4	0,0082	0,7	0,7580
-2,3	0,0107	0,8	0,7881
-2,2	0,0139	0,9	0,8159
-2,1	0,0179	1,0	0,8413
-2,0	0,0228	1,1	0,8643
-1,9	0,0287	1,2	0,8849
-1,8	0,0359	1,3	0,9032
-1,7	0,0446	1,4	0,9192
-1,6	0,0548	1,5	0,9332
-1,5	0,0668	1,6	0,9452
-1,4	0,0808	1,7	0,9554
-1,3	0,0968	1,8	0,9641
-1,2	0,1151	1,9	0,9713
-1,1	0,1357	2,0	0,9772
-1,0	0,1587	2,1	0,9821
-0,9	0,1841	2,2	0,9861
-0,8	0,2119	2,3	0,9893
-0,7	0,2420	2,4	0,9918
-0,6	0,2743	2,5	0,9938
-0,5	0,3086	2,6	0,9963
-0,4	0,3446	2,7	0,9965
-0,3	0,3821	2,8	0,9974
-0,2	0,4207	2,9	0,9981
-0,1	0,4602	3,0	0,9987
0,0	0,5000		

Вознаграждение или наказание исполнителей в зависимости от зафиксированной в плане меры вероятности достижения результатов, по-видимому, способствовали бы преодолению данного противоречия.

Оптимизация длительности работ

Сетевой график может служить основой оптимизации сроков выполнения работ. Для такого графика принимаются следующие исходные предпосылки: а) каждая работа может выполняться в более короткие, чем указа-

ны в сетевом графике, сроки; минимально возможные сроки работ известны; б) каждая единица сокращения длительности требует известных дополнительных затрат на работы; в) сокращение срока выполнения всей программы работ приносит известную выгоду на каждую единицу сокращения; г) оптимальным считается тот сетевой график, при котором выигрыш после вычета дополнительных затрат оказывается максимальным.

Схема решения задачи. В сетевой график вводятся минимально возможные сроки по работам, сокращение которых не вызывает затрат, превышающих выигрыш от сокращения срока выполнения всей программы. Затем определяются критический путь, сумма затрат на сокращение работ и общий эффект от сокращения. Сроки работ, лежащих на некритическом пути, увеличиваются до образования нового критического пути или до их исходной длительности.

Преимущество дается тем составляющим единую цепь работам, затраты на сокращение длительности которых значительнее.

После образования новых критических путей проверяется, нет ли таких одновременно выполняемых работ, суммарные затраты на сокращение длительности которых превышают эффект. Если нет, то оптимальный график готов. Если же они имеются, то сроки этих работ увеличиваются на равную величину до тех пор, пока длительность хотя бы одной из них не достигнет исходной величины.

Проиллюстрируем это на уже приводившейся сетевой схеме (рис. 22 б).

Предположим, что указанные на схеме сроки могут быть сокращены. Их минимальные значения и затраты, связанные с сокращением, приведены в табл. 22. За каждый день сокращения комплекса работ выплачивается вознаграждение 1000 руб. (или в сфере использования продукта работ образуется экономический эффект 1000 руб. в день).

Из таблицы следует, что сокращение до возможного предела всех работ (кроме P_{2-4} , нецелесообразность сокращения которой очевидна) связано с увеличением затрат на 4500 руб. Для определения сокращения общего срока всех работ и выявления возможности их опти-

Работы	Длительность, дни		Рост затрат при сокращении длительности на 1 день, руб.	Возможное сокращение в днях (гр.2—гр.3)	Затраты, связанные с возможным сокращением, руб. (гр.4×гр.5)
	принятая	минимально возможная			
1	2	3	4	5	6
P_{1-2}	2	1,0	300	1,0	300
P_{2-3}	4	2,0	400	2,0	800
P_{2-4}	3	2,0	1200	—*	—
P_{3-4}	0	0,0	—	—	—
P_{3-6}	3	1,0	500	2,0	1000
P_{4-6}	2	1,0	400	1,0	400
P_{4-8}	5	4,0	100	1,0	100
P_{6-7}	3	2,0	300	1,0	300
P_{6-7}	2	1,5	600	0,5	300
P_{6-8}	4	1,0	400	3,0	1200
P_{7-8}	1	0,5	200	0,5	100
Итого					4500

* Сокращение не производится потому, что затраты на единицу сокращения этой работы (1200 руб./день) превышают эффект от сокращения программы работ (1000 руб./день).

мизации формируется сеть по минимально возможным срокам (кроме P_{2-4}). Она приведена на рис. 27.

Критический путь сети (утолщенные стрелки) равен 10 дням, что дает $(15-10) \cdot 1000 = 5000$ руб., а после вычета затрат $5000 - 4500 = 500$ руб. экономии. Следовательно, сокращение длительности этих работ целесообразно.

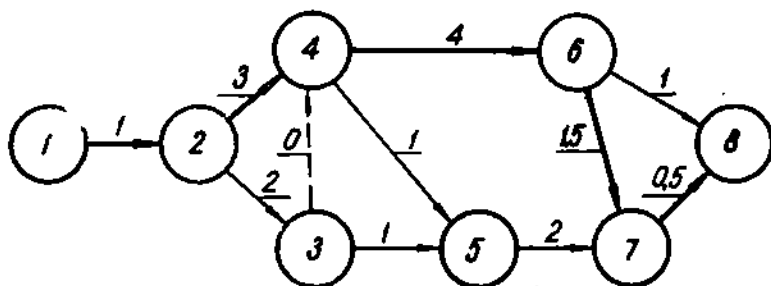


Рис. 27. Сеть с минимально возможной длительностью работ

Однако из сети видно, что полное использование возможности сокращения всех работ не имеет смысла. Многие работы не находятся на критическом пути и имеют резервы времени. К ним относятся P_{2-3} , P_{4-5} , P_{3-5} , P_{5-7} , P_{6-8} . Полные резервы их времени (в днях) составляют соответственно 1; 1,5; 1,5; 1,5; 1. Следовательно, в данном случае целесообразно ограниченное сокращение длительности работ. Причем в первую очередь должно ограничиваться сокращение работ, связанное с большими затратами. В цепи событий 3—5—7, например, единица сокращения времени работы P_{3-5} требует затраты 500, а P_{5-7} —300 руб. (табл. 22). Измененная с учетом этих соображений сеть изображена на рис. 28.

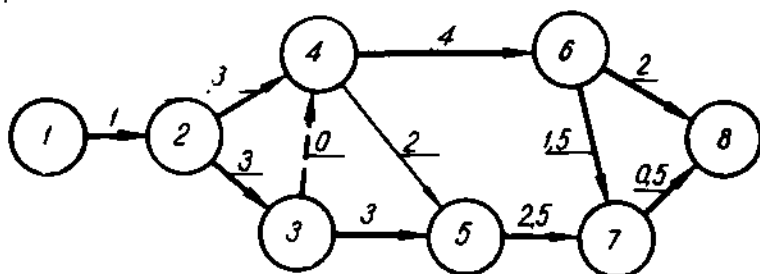


Рис. 28. Сеть с ограниченным сокращением длительности работ

На схеме появилось несколько критических путей. На них расположены почти все работы (кроме P_{4-5}). Общее время выполнения программы по-прежнему составляет 10 дней. Расчет затрат приведен в табл. 23.

Судя по таблице, затраты на сокращение работ составляют 2150 руб., а экономия достигает $(15-10) \cdot 1000 - 2150 = 2850$ руб.

Необходимо выяснить, не превышают ли затраты на сокращение одновременно выполняемых работ экономию от сокращения срока всей программы. В сетевом графике (рис. 28) такие работы есть. После события 6-го начинаются работы P_{6-7} , P_{6-8} и еще не закончена P_{5-7} . Сокращение их длительности на один день требует соответственно затрат 600, 400 и 300 руб. (табл. 23). Сумма их составляет 1300 руб. и превышает экономию от сокращения на один день всего комплекса работ.

Следовательно, необходимо восстановить исходную длительность одной и увеличить на равную величину длитель-

Работы	Длительность, дни		Рост затрат при сокращении длительности на 1 день, руб.	Сокращение длительности, дни (гр.2—гр.3)	Затраты, связанные с сокращением, руб. (гр.4×гр.5)
	была	стала			
1	2	3	4	5	6
P ₁₋₂	2	1,0	300	1,0	300
P ₂₋₃	4	3,0	400	1,0	400
P ₂₋₄	3	3,0	1200	—	—
P ₃₋₄	0	0,0	—	—	—
P ₃₋₅	3	3,0	500	—	—
P ₄₋₅	2	2,0	400	—	—
P ₄₋₆	5	4,0	100	1,0	100
P ₅₋₇	3	2,5	300	0,5	150
P ₆₋₇	2	1,5	600	0,5	300
P ₆₋₈	4	2,0	400	2,0	800
P ₇₋₈	1	0,5	200	0,5	100
Итого					2150

ность двух работ, т. е. принять для P₅₋₇—3, P₆₋₇—2, P₆₋₈—2,5 дня. Окончательно сложившаяся сеть изображена на рис. 29, а затраты приведены в табл. 24.

Длина каждого критического пути сети (рис. 29) составляет 10,5 дня, что приносит эффект $(15-10,5) \times 1000 = 4500$ руб.

По данным табл. 24, затраты на сокращение сроков работ составляют 1500 руб., а общая экономия $4500-1500=3000$ руб. Это наибольшая экономия в результате сокращения сроков работ. Поэтому сетевой график, изображенный на рис. 29, можно назвать оптимальным.

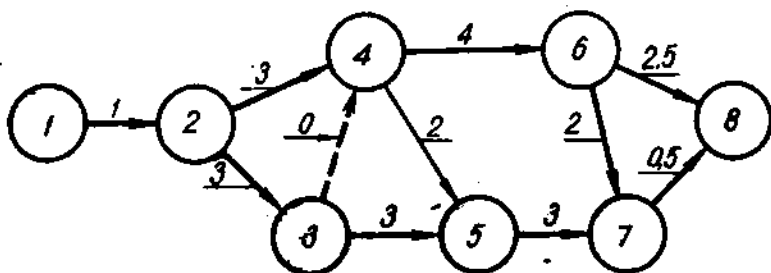


Рис. 29. Оптимальная сеть

Таблица 24

Работы	Длительность, дни		Рост затрат при сокращении длительности на 1 день, руб.	Сокращение длительности, дни (гр. 2—гр. 3)	Затраты на сокращение, руб. (гр. 4 × гр. 5)
	исходная	оптимальная			
1	2	3	4	5	6
P ₁₋₂	2	1,0	300	1,0	300
P ₂₋₃	4	3,0	400	1,0	400
P ₂₋₄	3	3,0	1200	—	—
P ₃₋₄	0	0,0	—	—	—
P ₃₋₅	3	3,0	500	—	—
P ₄₋₅	2	2,0	400	—	—
P ₄₋₆	5	4,0	100	1,0	100
P ₅₋₇	3	3,0	300	—	—
P ₆₋₇	2	2,0	600	—	—
P ₆₋₈	4	2,5	400	1,5	600
P ₇₋₈	1	0,5	200	0,5	100
Итого					1500

Строго говоря, сетевой график не может быть оптимальным, поскольку в нем отражены работы только по данной программе в отрыве от использования ресурсов вообще. Общество располагает ограниченными материальными и трудовыми ресурсами. Материальные ресурсы (орудия производства, материалы, сырье) являются продуктом живого труда, овеществленного в них. Поэтому в конечном счете количество живого труда, которое общество может затрачивать в течение календарного периода, является единственным ограничением развития производства.

Кроме того, материальные ресурсы могут использоваться во времени неравномерно: что не вошло в производственное потребление сегодня, может быть использовано завтра. Потеря в данном случае ограничивается тем, что продукт производится не сегодня, а завтра.

Вещественные же элементы производства при этом обычно сохраняются и успешно потребляются в другое время. Неиспользованные сегодня ресурсы живого труда, в отличие от материальных ресурсов, как правило, не могут быть использованы завтра. Поэтому ущерб состоит не

только в том, что полезный продукт будет изготовлен завтра вместо сегодня, но и в безвозвратной потере ресурсов рабочего времени.

Следовательно, важнейшей задачей оптимизации оперативного управления является полное использование ресурсов живого труда во времени. Для этого все виды живого труда должны непрерывно функционировать в рамках установленного режима рабочего времени. Любой перерыв в функционировании живого труда — это потерянное рабочее время. Оно невозвратимо и лишь в самой незначительной степени может быть компенсировано ценой нарушений режима.

В рассмотренных сетевых схемах использование ресурсов не учитывается. Поэтому в индивидуальном производстве применяются многие другие методы оптимизации оперативного управления. Задача оптимизации во всех случаях сводится к тому, чтобы по объемным производственным заданиям и ограничениям по ресурсам составить такой оперативно-календарный план, чтобы трудовые ресурсы, а затем и оборудование использовались равномерно.

Практика показывает, что предпочтение часто отдается оборудованию, особенно на «узких местах». Это оправдывается обычно тем, что специализация оборудования всегда четче и устойчивее специализации рабочей силы, а равномерное использование оборудования обычно определяет и равномерное использование трудовых ресурсов.

Одним из наиболее универсальных способов решения оперативных задач является определение напряженности работ и установление в зависимости от нее их очередности.

Напряженность работ исчисляется по уже известной формуле (40)

$$H = 1 - \frac{\Phi\Pi}{P}.$$

Под полным резервом времени в общем случае можно понимать разность между фактическим сроком выполнения работ и временем, необходимым для этого. Коэффициент Φ здесь не имеет значения, так как из общего числа работ может быть выбрано их лишь столько, сколько можно выполнять одновременно (для одного

рабочего места — только одна работа). Поэтому формула может быть преобразована

$$H = 2 - \frac{T}{P}, \quad (41)$$

где T — остаток времени до истечения срока; P — время, необходимое для выполнения работы (технологическая длительность); полный резерв времени $\Pi = T - P$.

Одним из примеров эффективного использования напряженности работ для определения очередности их выполнения является получивший широкое распространение в промышленности метод непрерывного производственного планирования.

3. Метод непрерывного производственного планирования

Сетевые методы планирования и управления перспективны как возможная основа для оптимизации использования ресурсов в индивидуальном или неповторяющемся производстве. В регулярно повторяющемся и непрерывном (массовом) производстве технологическая последовательность ведения работ полностью сохраняет свое значение. Однако при массовом характере и повторяемости работ неизбежность технологической последовательности теряется в общей массе деталей и операций. Если для какой-либо детали машины обязательной является шлифовка после термической обработки, то для массы повторяющихся работ может сложиться такое положение, когда в рамках планируемого отрезка времени сперва будет выполняться шлифовка (детали под шлифовку изготовили раньше), а затем термическая обработка.

В массовом производстве все операции выполняются, как правило, одновременно. Поэтому в условиях регулярно повторяющегося (серийного) производства планирование в значительной мере освобождается от влияния технологической последовательности и задача деформирования множества технологически независимых сетевых графиков с повестки дня снимается. Тем не менее проблема распределения работ во времени исключается только в непрерывном производстве, а в регулярно повторяющемся остается. Одним из наиболее распро-

страненных методов ее решения в машиностроении и других отраслях является метод непрерывного производственного планирования.

Этот метод может быть применен для планирования любого производства. Однако в непрерывном производстве он не требуется, а в нерегулярно повторяющемся или неповторяющемся становится крайне сложным и его достоинство — простота и наглядность — сводятся на нет. Поэтому основная область его применения — регулярно повторяющееся производство, т. е. предприятия с серийным характером и устойчивой номенклатурой изделий.

Одним из классических предприятий такого типа является Новочеркасский электровозостроительный завод (НЭВЗ). Это и определило отработку данного метода именно на этом заводе. Затем он стремительно распространился на многие другие предприятия различных отраслей хозяйства. Нельзя сбрасывать со счета и заслуги работников этого завода, особенно начальника производства А. Родова (36), в разработке, отладке, внедрении и широкой популяризации метода.

Особенности метода непрерывного производственного планирования сводятся к следующему.

1. Выбирается базовое изделие, на которое относятся работы во всех подразделениях (годовые или квартальные объемные задания по этим работам делятся на объемное задание по выпуску базового изделия). На НЭВЗе таким изделием является один из типов электровозов. Все остальные изделия «привязываются» к нему, независимо от наличия или отсутствия какой-либо (конструктивной, технологической, производственной и т. д.) реальной связи между ними. После этого состояние производства оценивается с точки зрения выполнения плана выпуска электровозов во времени. Если, например, какой-либо производственный участок должен выпустить изделий ширпотреба в 100 раз больше, чем выпускается заводом электровозов, то в каждый контролируемый момент времени количество сданных изделий ширпотреба должно в 100 раз превышать сдачу на эту же дату электровозов.

Выбор базового изделия является специфическим приемом НЭВЗа. Подавляющее большинство предприятий обходится без базового изделия, пользуясь обычны-

ми датами календаря, суточными объемами работ (суточными комплектами) и количеством подлежащих выполнению и выполненных работ на ту или иную дату.

2. Определяется и снимается с учета количество изделий в незавершенном производстве, необходимое для нормального хода производственного процесса, начиная от данного рабочего места и кончая выпуском готовой продукции.

3. Все работы ведутся так, чтобы фактическое выполнение постоянно соответствовало запланированному на данную дату количеству. Единственным ориентиром является соответствие фактического результата требованиям плана. Число дней отставания или опережения плана (или номер обеспеченного базового изделия) показывает, какие работы являются более напряженными, а стало быть, и первоочередными.

4. Техническим средством управления является картотека пропорциональности. Она состоит из горизонтально и вертикально расположенных ячеек. Каждый горизонтальный ряд отводится для контролируемого цеха, участка, рабочего места, рабочего или другой производственной единицы, выполняющей определенную номенклатуру работ. Каждая вертикаль картотеки представляет собой очередной номер базового изделия или дату текущего месяца.

В ячейках размещаются карточки с названиями работ. Место карточки по вертикали определяется ее принадлежностью к производственной единице, по горизонтали — номером обеспеченного базового изделия или датой, учитывающей выполнение планового задания.

Горизонтали указывают возрастание номеров базового изделия или дат. Все карточки, находящиеся влево от последней даты (или номера базового изделия, подлежащего сдаче на эту дату), отражают отстающие, расположенные вправо — опережающие работы. Чем левее расположены карточки, тем напряженнее зафиксированные в них работы и тем острее требуется их выполнение.

После выполнения работы количество изделий делится на суточное задание (или на количество изделий, приходящихся на одно условное изделие) и карточка передвигается вправо на соответствующее число ячеек. В этом суть непрерывного производственного планиро-

вания. В карточки заносятся необходимые сведения: количество и дата выполнения работ, фамилия рабочего и др.

Преимущества системы непрерывного производственного планирования.

1. Все объемное планирование сводится к определению суткокомплекта (или количества изделий, приходящихся на одно базовое), объема незавершенного производства по каждому изделию и расстановке карточек в картотеке в соответствии с расчетным и фактическим объемом незавершенного производства.

2. Оперативно-календарное планирование осуществляется в реальном масштабе времени. Сразу же после выполнения любой работы выясняется новое положение карточки в картотеке и картотека приводится в соответствие с фактическим положением дел.

3. Простота оперативно-календарного планирования и возможность участия в нем каждого исполнителя работ.

Недостатки системы.

1. Уже упоминавшаяся ограниченность применения.

2. Сложность построения картотеки, а любая корректировка плана (изменение числа изделий на машину, введение новых технологических операций, реорганизация производственной структуры) требует изменения как положения карточек в картотеках, так и самих картотек. Изменения в производстве обычно достигают огромной частоты и от регулярно повторяющегося производства остается подчас только название. Это нарушает всю систему, требует новой ее организации.

3. Наряду с картотеками необходимо вести журнал, фиксирующий положение по работам в днях и номенклатуре. Картотека отвечает на вопрос: что и насколько отстает? Но когда нужно выяснить положение по определенной работе вне связи с отставанием, то для нахождения карточки, отражающей эту работу, требуется перебрать подчас почти всю картотеку. Неудобство такого поиска и заставляет вести журнал регистрации всех карточек.

4. Производственный учет не связан с экономическим. Учет выработки рабочих (для начисления заработной платы) и всех других затрат ведется самостоятельно.

5. Отсутствуют верхние ограничения партий изделий, запускаемых в производство. Без этих ограничений возможен перерасход ресурсов (рабочего времени станка конкретного назначения или рабочего конкретной квалификации, металла конкретного профиля и сечения и т. д.). В результате одни работы могут быть значительно перевыполнены, образуя излишнее незавершенное производство, а другие останутся без ресурсов. Таким образом, оперативно-календарный план в непрерывном производственном планировании оказывается далеким от оптимального.

Эти недостатки ограничивают использование данной системы. Не случайно именно на НЭВЗе, наиболее четко организовавшем непрерывное производственное планирование, появилась одна из первых ЭВМ «Минск-23» и широким фронтом развернулось дальнейшее совершенствование управления производством на современной технической базе. Новая система, безусловно, полностью вытеснит картотеки пропорциональности.

4. Оптимизация календарного плана регулярно повторяющегося производства

Регулярно повторяющееся производство характеризуется многократным и регулярным повторением технологически однородных работ. В нерегулярно повторяющемся производстве партии подобных работ формируются спорадически и повторяются по одним и тем же работам случайно. Регулярность их повторения повышается по мере стандартизации, нормализации и унификации изделий.

Регулярно повторяющееся производство характерно для серийных цехов (автоматных, прессовых и т. д.) и участков предприятий с поточно массовым выпуском продукции. Поточные линии при этом являются частным случаем серийных участков. В серийном производстве на каждом рабочем месте может выполняться n различных операций, но в каждый момент — только одна из них (при групповой обработке в нее может входить несколько деталей). В поточных линиях $n=1$. Перестройка рабочего места на другую технологическую операцию требует затрат времени и средств. Эти затраты часто зависят от последовательности выполнения операций и во

всех случаях тем выше, чем чаще производятся переналадки.

После прохождения очередной операции изделие поступает на следующую. Если рабочие места, на которых выполняется следующая операция, в данный момент заняты, изделие отправляется в задел незавершенного производства. При этом часть средств «замораживается», что порождает издержки производства. Издержки прямо пропорциональны величине незавершенного производства и времени нахождения деталей в заделе. И то и другое зависит от частоты переналадки.

Таким образом, чем больше партия обрабатываемых изделий, тем меньше затраты на переналадку оборудования в расчете на одну деталь и тем больше потери от «замораживания» материальных ресурсов, привлекаемых для выполнения данной операции.

Минимизация проведенных затрат на производство единицы продукции и лежит в основе оптимизации календарных планов (8, стр. 233).

В реальных условиях решение подобных задач гораздо сложнее. Дело в том, что одновременно обрабатывается много различных партий и нужно вести сквозной расчет, начиная от входа изделий в производство и кончая их выходом. С народнохозяйственной точки зрения совершенно безразлично, после какой операции будет больше незавершенного производства. Поэтому в расчет нужно вводить большое множество единиц оборудования, учитывая технологические связи между ними и возможную зависимость затрат на наладку от последовательности выпуска изделий.

Кроме того, следует учитывать верхние ограничения партий, определяемые ресурсами, возможностями и условиями хранения, стойкостью инструмента и т. д. Размеры партий часто достигают этих ограничений еще до того, как они станут оптимальными по соотношению между потерями от образования незавершенного производства и затратами на переналадки.

Все это значительно усложняет задачу. Поиски ее решения не завершены до сих пор. Используемые в практических расчетах алгоритмы решения подобных задач весьма далеки от учета всех факторов, определяющих оптимальный или близкий к нему календарный план.

В. А. Сафроненко (42, 1970, т. VI, вып. 6, стр. 894—909) доказал, что решение задачи по оптимальному календарному планированию серийного производства с достаточными для практического приложения точностью и набором работ, оборудования и ограничений в принципе возможно. Но математическая модель при этом получается весьма сложной. Вместе с тем календарный план должен предусматривать переход к параметрам оптимального плана (заделы, размеры партий и т. д.) от фактического состояния и, следовательно, он будет отражать действительные требования производства тем лучше, чем чаще его будут пересоставлять. Таким образом, сложность модели, с одной стороны, и целесообразная частота ее реализации, с другой, позволяют считать, что в оптимальном оперативно-календарном планировании получают практическое применение аналоговые вычислительные машины, более пригодные для сложных оперативных расчетов в сравнении с цифровыми.

5. Моделирование работы поточных линий

Поточное производство — наиболее прогрессивная форма, предполагающая четкое расчленение технологического процесса на операции, закрепление каждой операции за определенным оборудованием, использование специальной технологической оснастки, расположение рабочих мест в порядке выполнения операций, передачу предмета труда с одной технологической операции на другую сразу же после выполнения предшествующей и, как правило, при помощи специальных транспортных средств. Вследствие этого поточные методы производства характеризуются высокой экономической эффективностью.

По мере развития специализации производства неуклонно возрастает применение поточных и автоматических линий. По данным ЦСУ СССР, только с августа 1963 по июль 1967 г. число автоматических и поточных линий в промышленности СССР увеличилось с 43,1 тыс. до 66,2 тыс. Наиболее широкое применение они получили в машиностроении. На его долю приходится почти 45% всех действующих поточных линий.

С расширением поточных методов возникает необходимость в обосновании способов управления поточными

линиями, обеспечения надежной и устойчивой их работы. Это объясняется, во-первых, большим объемом выпуска продукции с поточных линий за единицу времени; во-вторых, широко развитым кооперированием и вытекающей из этого зависимостью работы одних поточных линий от многих других; в-третьих, сравнительно высокой стоимостью специального оборудования, монтируемого в линиях.

Неустойчивая работа поточных линий чревата тяжелыми последствиями: срывом выпуска продукции в смежных подразделениях общественного производства и, в конечном счете, непроизводительного потребления, удлинением сроков окупаемости затрат на создание линий. Это особенно важно для машиностроения. Конечная продукция этой отрасли (машина) состоит из множества частей (деталей), технологический процесс изготовления которых делится на множество последовательно выполняемых операций. Чем больше технологических операций в линии и чем экстенсивнее и интенсивнее ее загрузка, тем важнее устойчивость ее функционирования.

Параметры устойчивости и критерий эффективности

Устойчивость хода производства характеризуется показателем «ритмичность выпуска продукции», отражающим флюктуацию, т. е. меру отклонения результатов за равные отрезки времени от средней величины, полученной для совокупности тех же отрезков, и отклонением фактических результатов от запланированных.

Поточная линия может рассматриваться как система, т. е. упорядоченная определенным образом организованная совокупность рабочих мест, осуществляющих массовый синхронный выпуск одной и той же номенклатуры изделий. Рабочее место в свою очередь представляет собой систему, или упорядоченную, определенным образом организованную совокупность средств производства (площадь, оборудование, технологическая оснастка, транспортные средства и предмет обработки). Величины, характеризующие элементы системы и систему в целом, определяющие устойчивость ее функционирования, представляют собой параметры устойчивости.

Параметрами устойчивости поточных линий являются: 1) производительность и надежность оборудования,

включая технологическую оснастку и транспортные средства, устойчивость технологического процесса; 2) запасы в линии заготовок, незавершенного производства и готовых изделий; 3) численность и производительность обслуживающего (основного и вспомогательного) персонала требуемой квалификации; 4) материальные стимулы; 5) параметры и методы регулирования.

К параметрам регулирования относятся: частота и точки учета величин межоперационных заделов и анализа их соответствия предельно допустимым значениям; предельно допустимые значения величин межоперационных заделов (уставки), при достижении которых требуется регулирование хода производства, т. е. приведение в действие одного из имеющихся или нескольких методов регулирования.

Методы регулирования: повышение интенсивности работы оборудования за счет сокращения микропауз, форсирования режимов, расчленения операций и привлечения дополнительной рабочей силы, в том числе наладчиков, ремонтников и других вспомогательных рабочих; использование внутрисменных и междусменных перерывов для производительной работы или ремонта (наладки) оборудования; включение в процесс производства резервного оборудования, в том числе вспомогательного; форсирование ремонта (наладки) оборудования.

На каждой поточной линии продукция должна выпускаться с определенной ритмичностью и при определенных затратах.

В качестве критерия эффективности поточной линии могут применяться два показателя: 1) заданный выпуск продукции при минимальных затратах; 2) максимальный выпуск продукции при ограниченных затратах.

Ритмичность при этом может быть или искомой величиной, или ограничением. Ограничением она становится тогда, когда запас готовой продукции ограничен сверху, а потребитель не располагает большими резервами пропускной способности. Вследствие этого простои потребителя по вине данной линии не могут превышать определенную величину.

Первый критерий применяется при проектировании поточной линии, второй — для выяснения ее предельной

пропускной способности при имеющемся оборудовании, недостатке заготовок и незавершенного производства или рабочей силы. Если единственным ограничением является оборудование, то полученное значение выпуска продукции представляет собой производственную мощность данной линии.

При ограничении одних параметров другие оказываются искомыми и становятся оптимальными при максимальном значении критерия эффективности (минимум затрат или максимум выпуска).

Нахождение оптимальных параметров и является целью машинно-математического моделирования процесса.

Количество оборудования и рабочих мест, такт, ритм определяются на основании нормативов технологического процесса, фонда рабочего времени и программы выпуска изделий. Расчет такта и производных от него величин — ритма и темпа выпуска — производится практически однократно и не вызывает заслуживающих рассмотрения затруднений.

Ввод или исключение какой-либо единицы оборудования вызывает скачок в производительности линии по соответствующей технологической операции. Поэтому изменение производительности оборудования линии рассматривается как дискретная величина. Ее выбор в сочетании с другими параметрами (заделами, обслуживанием, регулированием) осуществляется «методом проб», т. е. путем анализа результатов целенаправленного ввода ее в модель или вывода из модели.

Запасы заготовок, незавершенного производства и готовых изделий определяют устойчивость производственных процессов в поточных линиях, воздействуют на уровень загрузки орудий труда и рабочей силы, являются вещественным содержанием оборотных фондов. Несмотря на большую их важность, теоретическая разработка и практические способы расчета некоторых видов запасов не отличаются достаточной обоснованностью. Обычно их устанавливают как n -дневной запас, а n принимают на основе обобщения опыта работы аналогичных производственных участков.

Запасы характеризуются тем, что они являются продуктом работы самой линии (кроме заготовок). Если их даже не давать в линию, то при неограниченном питании

заготовками они образуются сами по себе. Чем дольше будет работать линия, тем больше будут запасы и выше вероятность выполнения плана за длительный отрезок времени. В этом смысле поточная линия самоорганизуется.

Машинно-математическое моделирование, имитируя процесс самоорганизации, позволяет оптимизировать величину запаса во взаимосвязи с другими параметрами устойчивости линии, в том числе с параметрами и методами регулирования. Запасы при этом рассматриваются не только как *компенсатор* последствий различных возмущений (простой из-за неисправности и разладки оборудования, колебания штучного времени обработки изделий, появление бракованных изделий и полуфабрикатов и т. д.), но и как *индикатор* хода производственного процесса: состояние запасов дает информацию о ходе производства, позволяющую принимать решения о применении тех или иных управляющих воздействий.

Численность основных производственных рабочих в поточной линии может рассматриваться как постоянная величина, определяемая количеством рабочих мест.

Вспомогательные рабочие (наладчики и ремонтники) обеспечивают постоянную техническую готовность средств труда. При определении их численности принимается во внимание то обстоятельство, что простой оборудования по технической неисправности состоит из времени *ожидания* ремонта или технического обслуживания и времени *устранения* неисправностей.

И то и другое время — величина случайная и существенно зависит от численности ремонтников и наладчиков. Поэтому минимизация этого времени является важным параметром устойчивого функционирования поточных линий.

Время устранения неисправностей может быть изменено лишь в результате оперативного регулирования, главным образом за счет более интенсивного, экстенсивного и производительного приложения труда при ремонте или наладке. Время ожидания ремонта или наладки зависит в основном от частоты отказов и численности ремонтников и наладчиков.

Материальное (и моральное) *стимулирование* как параметры устойчивости поточных линий самостоятельно не рассматриваются. Производительность оборудования,

время его простоев из-за устранения неисправностей, необходимые запасы незавершенного производства, численность обслуживающего персонала зависят от степени заинтересованности работников в результатах их труда. Все эти величины получают конкретные значения в условиях действия конкретных стимулов. Предполагается, что эти стимулы обеспечивают интенсивность труда всех работников поточной линии на среднем общественном уровне.

При использовании же некоторых методов регулирования интенсивность труда может временно повышаться. Однако стимулирование кратковременного повышения интенсивности труда выше среднего уровня рассматривается как составная часть всей совокупности дополнительных затрат на производство изделий при использовании методов регулирования.

Достаточная для выполнения плана пропускная способность оборудования и других технических средств; наличие запаса заготовок, незавершенного производства и готовых изделий, достаточного для компенсации последствий возмущений; выход на работу и высокая квалификация всего обслуживающего персонала при наличии стимулов, обеспечивающих среднюю общественную интенсивность труда, позволяют поточной линии функционировать в соответствии с заданным критерием эффективности без всякого регулирования.

Ограничившись только этими параметрами устойчивости поточной линии, можно с помощью машинно-математического моделирования найти их оптимальные значения без учета параметров и методов регулирования. Однако результаты будут неточными. Реальная поточная линия всегда регулируется. Вызывая некоторые дополнительные затраты, регулирование позволяет сохранять необходимую устойчивость поточной линии при более низких значениях остальных параметров. Задача и заключается в том, чтобы найти такое сочетание всех параметров устойчивости (включая регулирование), при котором критерий эффективности приближался бы к наибольшему (наименьшему) значению. Соответствующие этому значению параметры устойчивости, не являющиеся ограничениями, называются оптимальными.

Затраты, связанные с производством изделий на поточных линиях, делятся на *капитальные* (основные и оборотные фонды) и *текущие* (использование заготовок, обслуживание оборудования и т. д.).

Текущие затраты отражаются в себестоимости продукции достаточно полно. Капитальные затраты включаются в себестоимость только в размере амортизации. Это явно недостаточно. С капитальными затратами связано отвлечение в данную поточную линию основных и оборотных производственных фондов из общественных ресурсов. Оборотные фонды, главной частью которых являются запасы заготовок, незавершенного производства и готовых изделий, вообще не влияют на себестоимость продукции. Плата за фонды производится из прибыли и представляет собой вполне очевидные текущие затраты, связанные с использованием всех производственных фондов. Поэтому включение платы за фонды в себестоимость было бы более правильным.

Для комплексной оценки параметров устойчивости поточной линии используется показатель «*приведенные затраты*» $Z = EK + C$, где Z — приведенные затраты; E — нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат; K — капитальные затраты на создание основных и оборотных производственных фондов, учитываемых интегральной или средней величиной за моделируемый отрезок времени; C — текущие затраты на производство продукции, зависящие от рассматриваемых параметров.

Оптимальными параметрами устойчивости поточной линии являются те, при которых $Z = EK + C = \min$, независимо от того, является ли объем выпуска продукции заданной величиной или искомой максимальной при заданной величине (ограничении) какого-либо параметра.

К параметрам устойчивости, определяющим размер капитальных затрат, относятся производительность и надежность оборудования (от выбора и использования которого зависят его стоимость и стоимость применяемой технологической оснастки), запасы заготовок, незавершенного производства и готовых изделий.

Это может быть представлено в виде формулы

$$K = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + Z,$$

где K_1 — стоимость технологического (основного и вспомогательного) оборудования; K_2 — стоимость технологической оснастки, если она не входит в стоимость технологического оборудования; K_3 — стоимость производственной площади, занятой поточной линией; K_4 — стоимость транспортного и прочего оборудования, не входящего в стоимость производственной площади; Z — стоимость запасов заготовок, незавершенного производства и готовых изделий.

К параметрам устойчивости поточной линии, определяющим величину текущих затрат, относятся численность обслуживающего персонала, все параметры и методы регулирования, потери от неустойчивой работы. Точнее они выражаются формулой $C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$, где C_1 — заработная плата основных производственных рабочих, наладчиков, ремонтных рабочих, электриков; C_2 — затраты, зависящие от принятых параметров регулирования; C_3 — затраты, зависящие от применяемых методов регулирования; C_4 — потери от неустойчивой работы поточной линии.

Заработная плата рабочих определяется по формуле

$$C_1 = \sum_{j=1}^l c_j$$

где l — число всех рабочих линии; c_j — средняя месячная (фактическая или планируемая) заработная плата j -того рабочего ($j = 1, 2, \dots, l$) с начислениями, но без оплаты простоев и сверхурочных работ.

Из формулы видно, что C_1 может рассматриваться как дискретная величина, особенно в отношении вспомогательных рабочих. Следовательно, выбор ее оптимального значения в сочетании с остальными параметрами устойчивости может осуществляться путем анализа результатов целенаправленного ввода (вывода) c_j в модель.

Затраты, связанные с параметрами регулирования при автоматизированном сборе и анализе информации, определяются расходами на эксплуатацию технических средств. В этом случае их величина практически не зависит от принятых параметров. При визуальном наблюдении за заделами и интуитивном принятии решений о регулировании затраты могут быть определены по формуле $C_2 = LJ$, где L — стоимость восприятия и анализа бита

информации; J — месячное количество информации (в битах) о состоянии запасов.

Стоимость восприятия и анализа бита информации определяется делением месячной заработной платы работника, контролирующего состояния производства (мастера), на его месячную информационную пропускную способность в битах.

Исследованиями установлено, что в течение смены человек может воспринять информацию и реагировать на нее без существенной потери со средней интенсивностью 2,3 бита в секунду. Если месячная заработная плата работника управления составляет, например 150 руб., то можно считать, что $L = 0,01$ коп/бит.

Количество информации, полученной за месяц, может быть определено по формуле

$$J = - \sum_{j=1}^m s_j \sum_{i=1}^{n_j} p_{ij} \log_2 p_{ij},$$

где m — количество точек контроля хода производства в линии (в рассматриваемой модели — межоперационные заделы); s_j — число наблюдений в течение месяца по j -той точке наблюдения ($j = 1, 2, \dots, m$); n_j — количество значений наблюдаемых величин (уставок) по j -той контрольной точке, при которых требуется регулирование хода производства; p_{ij} — вероятность обнаружения i -того значения наблюдаемой величины ($i = 1, 2, \dots, n_j$) в j -той точке контроля ($j = 1, 2, \dots, m$).

Вероятность обнаружения того или иного значения наблюдаемой величины может быть получена при моделировании процесса на ЭВМ.

Из теории информации следует, что если исходы наблюдений равновероятны, то количество информации несколько увеличивается, но выражение становится проще

$$J = \sum_{j=1}^m s_j \log_2 n_j.$$

Если во всех точках контроля число наблюдений ($s_j = s$) и количество уставок ($n_j = n$) одинаковы, то $J = ms \log_2 n$.

Обычно для принятия решения о регулировании нужно знать, с какой стороны (сверху или снизу) приближа-

ется задел к заданной величине уставки. Это добавляет к каждому наблюдению один бит информации. Тогда $I = ms(1 + \log_2 n)$.

При $n=1$ $\log_2 n=0$, при $n=2, 3, 4, 5, 6$ $\log_2 n$ равен соответственно 1; 1,73; 2; 2,23; 2,45.

Значение $n=1$ означает, что установлена некоторая критическая величина задела, но информация о том, что нужно делать при ее достижении равна 0. Когда известно, с какой стороны (сверху или снизу) задел приблизился к установленной величине, то наблюдение приносит 1 бит информации, и если задел движется вниз, то один из методов регулирования подключается, если вверх, то отключается.

Если принять в какой-либо точке одну величину задела для включения регулирования при приближении задела к ней сверху, а вторую величину, не равную первой, для отключения регулирования при приближении задела к ней снизу, то получим $n=3$, а каждое наблюдение будет приносить около 3 бит информации. Когда шаг наблюдения равен темпу выпуска продукции, т. е. управление ведется в реальном масштабе времени, то при темпе, например, 100 шт. в смену все наблюдение по данной точке будет стоить $3 \cdot 100 \cdot 0,01 = 3$ коп. в смену. Существенного увеличения затрат не принесут и другие значения n и темпов выпуска продукции.

Учитывая, что наблюдение может вести каждый рабочий без дополнительной оплаты, можно сделать вывод, что параметры регулирования сами по себе не вызывают затрат, заслуживающих внимания. Но вместе с тем они оказывают непосредственное влияние на частоту подключения методов регулирования, реализация которых может быть связана с весьма существенными затратами.

Затраты на регулирование определяются отдельно для каждого метода. При повышении интенсивности работы увеличивается расход режущего инструмента и оплата рабочего. За использование внутрисменных и междусменных перерывов могут выплачиваться сверхурочные или денежные поощрения. Включение в процесс производства резервного оборудования связано либо с отвлечением капитальных затрат на установку его в линию, либо с дополнительными текущими затратами по выполнению операций на оборудовании, предназначенном для других целей. Форсирование ремонта или наладки оборудования

также может сопровождаться различными дополнительными затратами, в том числе на поощрение персонала.

Каждому из методов регулирования по каждому рабочему месту дается одна либо несколько (в том числе нулевая) оценок. Оценки выражаются в текущих затратах на единицу времени использования метода. Когда используется несколько оценок, должна быть определена вероятность применения каждой из них.

В затраты, вызванные неустойчивой работой линии, включается оплата простоев рабочих и потребителя продукции. Эти затраты пропорциональны длительности простоев, но их величина может быть различной (вероятностной), тем более что оплачиваются обычно не все простои.

Способы получения исходных данных и порядок решения задачи

Для исследования устойчивости функционирования поточных линий требуется большое количество достаточно точных исходных данных. По способу получения их можно разделить на учетные, статистические, нормативно-расчетные, экспертные.

Учетные данные накапливаются в результате непосредственного наблюдения, сейчас главным образом визуального, в перспективе — автоматического.

Статистические данные — результат обработки учетных материалов о событиях, накопленных за более или менее длительный стрезок времени.

Нормативно-расчетные данные являются результатом расчетов, основанных на познании детерминированных связей между событиями или средних величин, характеризующих связи между случайными событиями.

Экспертные данные появляются после обработки ряда интуитивных оценок специалистов, имеющих практический опыт работы в исследуемой области. Эти данные используются в том случае, если нет возможности получить их другими способами. Метод обработки экспертных оценок в настоящее время в значительной мере определяется экспертно, но постепенно становится предметом и результатом все более глубоких научных исследований в этой области.

Функционирующая модель используется следующим образом.

Для определения в каждый момент времени состояния параметров моделируемого объекта (исправно или неисправно оборудование, уровень его производительности, наличие рабочих, годное или бракованное изделие по каждой операции, возможность подключения методов регулирования, оценка затрат по регулированию или потерь в связи с простоями) используются датчики случайных величин и событий.

Определяется величина заделов, при которой после вычета времени простоев оборудования (ремонт и наладка, ожидание ремонта и наладки, отсутствие предмета труда) остается столько времени для работы оборудования, сколько необходимо для выполнения плана за длительный период.

Определяется численность ремонтных рабочих по специальностям (слесари, электрики, гидравлики и др.) и наладчиков, при которой ожидание обслуживания и само обслуживание оставляет столько времени для работы оборудования, сколько требуется для выполнения плана за длительный период.

Варьируются: а) уровень плана; б) резервы оборудования; в) численность обслуживающих рабочих; г) средняя величина запаса заготовок, полуфабрикатов и готовых изделий; д) точки и моменты контроля заделов; е) пороги включения и выключения регулирующих воздействий.

Определяется эффективность варианта и исследуются все его параметры. Целенаправленным изменением параметры каждого нового варианта приближаются к значениям, при которых эффективность, исчисленная по формуле приведенных затрат, наиболее значительна.

Из множества величин учитываются лишь те, что изменяются при выборе параметров в процессе моделирования поточной линии. В наиболее упрощенной задаче можно ограничиться нахождением только оптимальной величины задела, не изменяя других параметров устойчивости, или оптимального количества обслуживающего персонала, который в свою очередь может рассматриваться по каждой категории (наладчики, слесари, электрики); или оптимальных параметров и методов регулирования и т. д.

Разработанные сотрудниками Института экономики АН БССР Г. М. Генделевым и Н. А. Яковицкой математическая формализация постановки задачи, алгоритмы,

программы и инструкции по их применению позволяют решать задачу как в комплексе, так и по каждому параметру в отдельности. В некоторых случаях комплексное решение достигается путем последовательных приближений в результате целенаправленных изменений отдельных параметров.

Экспериментальные расчеты

Экспериментальные расчеты на модели оптимизации хода производства, выполненные для участка корпуса заднего моста Минского ордена Ленина и ордена Октябрьской революции тракторного завода, показали хорошую адекватность модели и исследуемого объекта. Так, данные по выпуску на каждой операции отличались в среднем на 2,4%, по длительности простоев из-за неисправности — на 2,1%. Последующее определение нормативов и критических уровней задела с помощью модели, в сочетании с системой оперативного управления показало, что средний суточный выпуск продукции на участке может быть увеличен на 10—12%.

Вместе с тем выяснилось, что модель сложна для реализации на ЭВМ «Минск-22». Одна реализация на этой машине протекает около двух минут, а для достаточной достоверности расчетов требуется, как показал опыт, 200—400 реализаций, на что необходимо примерно 10 часов работы машины. Определение наилучших параметров требует расчета по многим вариантам. Поэтому для моделирования должны использоваться более быстродействующие ЭВМ (БЭСМ, М-220, «Минск-32» и др.).

Часть модели, предназначенная для определения численности рабочих, имеет самостоятельное значение. Без всяких изменений ее можно использовать для расчета не только в поточном, но и любом другом производстве. Время всего расчета на машине «Минск-22» не превышает 1,5 часа.

Машинно-математическая модель для расчета численности вспомогательных служб была применена для двух производственных подразделений Скопинского автоагрегатного завода. В первом действовало семь автоматических линий (180 единиц оборудования) по обработке переднего и заднего штоков амортизатора. Вторым был автоматный участок с 51 единицей оборудования. Сопо-

ставление выбранных с помощью модели вариантов количества наладчиков, электриков и слесарей-механиков по нормативам «Единой системы планово-предупредительного ремонта...» (ЕСППР) и «Общемашиностроительных норм обслуживания для вспомогательных рабочих», разработанных ЦБПНТ, показывает, что по отделению автоматических линий рекомендации ЦБПНТ по количеству слесарей и электриков практически совпадают, а по количеству наладчиков в 2,4 раза превосходят полученные на модели результаты. Численность слесарей-механиков по нормативам ЕСППР превышает полученные на модели результаты в два раза. На автоматном участке численность слесарей и электриков почти совпадает, а количество наладчиков по нормативам ЦБПНТ в 1,5 раза больше.

Нормативы ЕСППР и ЦБПНТ — результат обобщения многолетнего опыта производственной деятельности большого числа промышленных предприятий, условия работы которых не всегда идентичны. Многолетнее функционирование производства имитируется на модели за несколько часов. Обобщенные при имитации данные относятся не к различным предприятиям, а к конкретному производственному участку, все важнейшие особенности которого отражены в модели. Поэтому моделирование на ЭВМ — более точный метод расчета численности обслуживающих линию рабочих.

Результаты машинно-математического моделирования производственного участка со стабилизировавшимся в течение многих лет ходом производства (автоматный цех Минского тракторного завода) оказались близкими к фактическим. Это свидетельствует о практической пригодности для проектных расчетов разработанной в Институте экономики АН БССР модели метода выбора экспертов и обработки экспертных оценок для получения исходных данных.

Разработанная в Институте экономики АН БССР машинно-математическая модель наряду с расчетом оптимальных параметров позволяет:

— определять экономическую эффективность любого организационного или технического мероприятия по повышению производительности труда, снижению затрат, повышению надежности оборудования или технологической оснастки, сокращению сроков ремонта, повышению ритмичности, закреплению обслуживающих рабочих за

участками и оборудованием внутри участков, частоты контроля хода производства и т. д.;

— иметь многие данные для проектирования автоматизированных систем управления производством: целесообразную частоту контроля хода производства, привлечения того или иного метода для регулирования хода производства, вызовов рабочих на обслуживание оборудования; определять на этой основе потоки информации и объемы ее переработки в системе;

— видеть свободное время обслуживающих оборудование рабочих (ожидание вызовов) и планировать использование его на других работах (плановый ремонт, основное производство, инструктаж, общественные поручения и т. д.).

Первые обнадеживающие результаты машинно-математического моделирования позволяют рекомендовать проектным организациям изучить возможность использования методов, моделей, алгоритмов и программ, разработанных в Институте экономики АН БССР для проектирования поточных линий и определения численности обслуживающих рабочих (10). Проектировщикам и изготовителям машин, в первую очередь станкостроителям, следует начать вводить в технические характеристики такие параметры, как среднее время безотказной работы и устранения неисправностей, вероятности отказов по причинам (механическая часть, электрооборудование, гидравлика, технологическая оснастка и т. д.). Разработчикам автоматизированных систем управления производством необходимо предусматривать в системах возможность автоматизированного сбора и обработки информации, необходимой для получения более точных данных о законах распределения случайных величин и соответствующей корректировки на этой основе параметров устойчивого хода производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., изд. 2-е.
2. В. И. Ленин. Полн. собр. соч.
3. «Автоматизация». США, 1965.
4. Белорусская Советская Энциклопедия, т. I. Минск, 1969.
5. А. И. Берг. Кибернетику на службу коммунизму. М., «Госэнергиздат», 1961.
6. Ст. Бир. Кибернетика и управление производством. М., Изд-во физико-математической литературы, 1963.
7. Л. Бриллиан. Научная неопределенность и информация. М., «Мир», 1966.
8. Н. И. Ведута. Об экономической эффективности капитальных вложений в промышленности. Минск, Изд-во АН БССР, 1960.
9. Н. И. Ведута. Экономическая эффективность новой техники. Минск, «Наука и техника», 1964.
10. Н. И. Ведута, Г. М. Генделев, М. С. Куньявский, В. А. Сафроненко, Н. А. Яковичка, Ю. М. Ясинский. Применение ЭВМ для оптимизации работы поточных линий. Минск, 1970.
11. Н. И. Ведута, И. Б. Левин, С. И. Лукашевич. Экономика механизации управленческого труда. М., «Экономика», 1968.
12. Н. Винер. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. М., «Советское радио», 1968.
13. «Вопросы экономики».
14. Воспоминания о Марксе и Энгельсе. М., Госполитиздат, 1956.
15. Г. М. Генделев. Исследование параметров оптимального функционирования поточных линий методом машинно-математического моделирования. Автореферат кандидатской диссертации. Минск, АН БССР, 1970.
16. Ст. Голдман. Теория информации. М., ИЛ, 1967.
17. Доклады Академии наук БССР.
18. С. А. Думлер. Управление производством и кибернетика. М., «Машиностроение», 1969.
19. Н. И. Жуков. Философские основы кибернетики. Минск, Изд-во БГУ, 1970.
20. И. С. Зингер, М. Ф. Коротяев. Методика исследования потоков информации на промышленных предприятиях. М., ЦЭМИ АН СССР, 1966.
21. Г. Клаус. Кибернетика и общество. М., «Прогресс», 1967.
22. А. Е. Кобринский, Н. Е. Кобринский. Кибернетика в управлении производством. М., «Экономика», 1967.
23. О. Козлова, Г. Бродский, В. Дудорин, С. Митин,

- Л. Никонова, Л. Соломатин. Применение электронно-вычислительных машин в управлении производством. М., «Мысль», 1966.
24. О. В. Козлова, И. Н. Кузнецов. Научные основы управления производством. М., «Экономика», 1970.
 25. М. А. Королев. Обработка экономической информации на электронных машинах. М., «Экономика», 1965.
 26. Краткий толковый словарь терминов по автоматизированным системам управления отраслями и предприятиями. Минск, ЦНИИТУ, 1969.
 27. О. Ланге. Введение в экономическую кибернетику. М., «Прогресс», 1968. ✓
 28. А. Лернер. Начала кибернетики. М., «Наука», 1967.
 29. Методика определения экономической эффективности применения ЭВМ в управлении производством. Минск, ЦНИИТУ, 1967.
 30. К. Е. Морозов. Математические модели в кибернетике. М., «Знание», 1968.
 31. Народное хозяйство СССР в 1968 г. М., «Статистика», 1969.
 32. Наука — техника — управление. М., «Советское радио», 1966.
 33. И. Е. Нелидов, Л. Г. Никонова. Кибернетика и экономическая работа в промышленности. М., «Экономика», 1967. ✓
 34. «Правда».
 35. В. Ф. Пугачев. Оптимизация планирования. М., «Экономика», 1968.
 36. А. Родов, Д. Крутяжский. План, поток, ритм. Ростовское книжное издательство, 1964.
 37. Темпы, пропорции, критерий эффективности. М., «Экономика», 1968.
 38. Н. П. Федоренко. О разработке системы оптимального функционирования экономики. М., «Наука», 1968.
 39. Н. П. Федоренко. Экономика и математика. М., «Знание», 1967.
 40. Философская энциклопедия. М., «Советская энциклопедия», 1960.
 41. К. Шеннон. Работы по теории информации и кибернетике. М., ИЛ, 1963.
 42. «Экономика и математические методы».
 43. «Экономическая газета».
 44. «Экономические науки».

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
--------------------	---

Глава I

Предмет и метод, содержание и основные разделы экономической кибернетики

1. Управление как процесс целеустремленного использования объективных законов	11
2. Управляющие-информационные и управляемые-материальные процессы	13
3. Кибернетика — наука об информационных процессах	16
✓ 4. Актуальность автоматизации управления производством	17
5. Экономическая кибернетика	21
6. Метод экономической кибернетики	28
7. Содержание и основные разделы экономической кибернетики	42
8. Экономическая кибернетика и другие экономические науки	43

Глава II

Управление как информационный процесс

✓ 1. Что такое информация	49
2. Справочники и сообщения	51
3. О количественной связи информации справочников с информацией сообщений	53
4. Неопределенность, энтропия, разнообразие	58
5. Мера информации	60
Простые события	63
Недискретные величины	69
Сложные события	77
Пустые сообщения	86
Случайные комбинации событий	91

Анализ одной из моделей	97
Количественная мера качественных определений	105
6. Информация и энтропия	108
↙7. Экономическая информация	111
↗8. Измерение объемов экономической информации	114
↘9. Идентификация единиц информации	119
↖10. Обработка экономической информации	128
11. Методы описания информационных потоков	130

Глава III

Системы управления производством

↖1. Общие понятия	137
↗2. Системы управления	139
3. Общественное производство как система управления	145
↘4. Иерархия систем	155
↖5. Классификация систем и функций управления	158
6. Элементарное звено	163
7. Задачи по управлению производством	171
↙8. Организационная структура	176
↘9. Автоматизированная система	178

Глава IV

Теория оптимального функционирования социалистической экономики

1. Важнейшие проблемы оптимального планирования	188
2. Стоимость как мера потребительной стоимости	191
3. Потребности социалистического общества	197
4. Розничные цены как средство непосредственного измерения потребительной стоимости	205
5. Относительная самостоятельность принципов построения розничных цен и цен производства	203

6. Розничные цены как регулятор производства потребительных стоимостей	212
7. О функциях розничной торговли	220
8. Реальность выполнения торговлей функций регулятора производства потребительской продукции	224
9. Труд и отдых	228
10. Потребление и накопление	231
11. Общая тенденция преимущественного роста производства средств производства	232
12. Оптимизация соотношения между накоплением и потреблением	242
13. Централизация управления и самостоятельность производственно-хозяйственной деятельности	257

Глава V

Оптимальное регулирование хода производства

1. Общие положения	266
2. Сетевые методы планирования и управления	269
Построение сетевых графиков	271
Важнейшие параметры	275
Вероятность выполнения работ в назначенное время	283
Оптимизация длительности работ	286
3. Методы непрерывного производственного планирования	293
4. Оптимизация календарного плана регулярно повторяющегося производства	297
5. Моделирование работы поточных линий	299
Параметры устойчивости и критерий эффективности	300
Затраты и потери	305
Способы получения исходных данных и порядок решения задачи	309
Экспериментальные расчеты	311
Литература	314

Ведута Николай Иванович

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

Очерки по вопросам теории

Издательство «Наука и техника»

Минск, Ленинский проспект, 68

Редактор **М. Родников**

Художник **В. Ткачук**

Художественный редактор **Л. Усачев**

Технический редактор **И. Тихонова**

Корректор **М. Каляда**

Печатается по постановлению РИСО АН БССР
АТ 04610. Сдано в набор 12 IV-71 г. Подписано в
печать 21/VI-71 г. Бумага тип. № 3. Формат
84×108¹/₃₂. Физ. печ. листов 10. Усл. печ. листов
16,8. Уч.-изд. листов 15,8. Изд. заказ 1005. Тип.
• заказ 347. Тираж 5500 экз. Цена 1 р. 08 к.
Типография имени Франциска (Георгия) Скорняки
издательства «Наука и техника» АН БССР и Гос-
комитета СМ БССР по печати. Минск, Ленинский
проспект, 68.

Ведута Н. И.

В 26 Экономическая кибернетика. Очерки по вопросам теории.
Мн., «Наука и техника», 1971.

320 с. (АН БССР, Ин-т экономики). 5500 экз. 1 р. 08 к.

В книге рассматриваются содержание, особенности и значение экономической кибернетики как новой отрасли науки, раскрываются ее связи с другими областями знания. Библиогр.: с. 314—315. 29 иллюстр.

1-8-5

33 с

25-70

17.08.6

51536