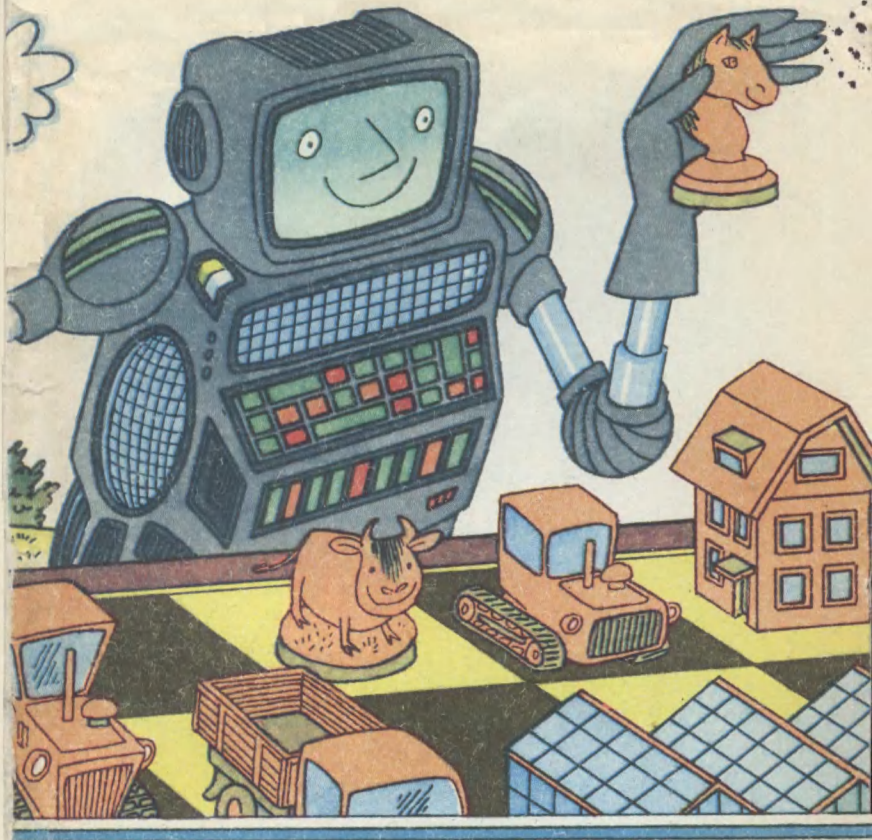


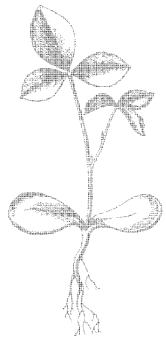
ТРУДИСЬ, КОМПЬЮТЕР!

Б. В. Павлов

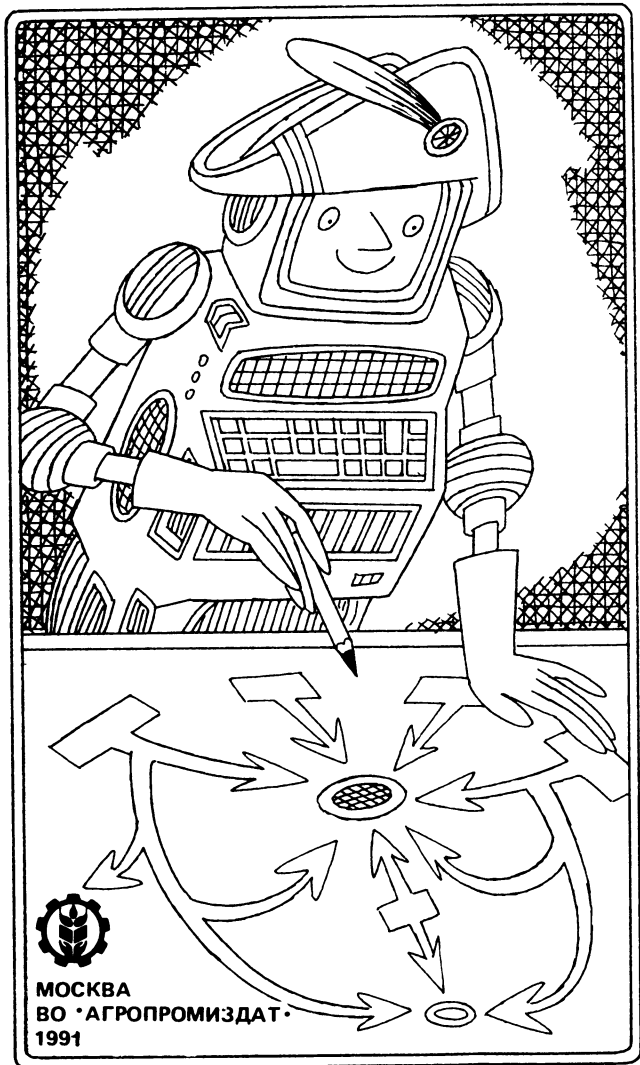


Б. В. Павлов

ТРУДИСЬ,
КОМПЬЮТЕР!



Scan AAW



МОСКВА
ВО «АГРОПРОМИЗДАТ»
1991

Б. В. Павлов

ТРУДИСЬ,
КОМПЬЮТЕР!



ББК 40.7
П 12
УДК 681.3:63

Редактор **И. С. Сороко**

Павлов Б. В.

П 12 Трудись, компьютер! – М., Агропромиздат, 1991. – 239 с.

ISBN 5-10-001103-3

«Давайте вычислим, сударь!» – обращался к своим оппонентам знаменитый математик Лейбниц, – и мы, взяв перо и чернила, быстро вышли бы из затруднительного положения». Увы, сегодня подобное вряд ли возможно, без «интеллектуальной» электронно-вычислительной техники уже не обойтись. О том, как использовать компьютеры в сельскохозяйственной практике, рассказывает книга.

3703000000-007 0
П $\frac{\quad}{035(01)-91}$ 24-90

ББК 40.7

ISBN 5-10-00110

© Б. В. Павлов, 1991
© ВО «Агропромиздат»,
оформление и иллюстрации, 1991

ПРЕДИСЛОВИЕ

Хотя уже первые электронные вычислительные машины (ЭВМ) возбудили всеобщий интерес, энтузиазм и породили большие надежды, однако тогда, почти полвека назад, мало кто ожидал, что их появление станет глобальным социально-экономическим событием, которое не только изменит производство, но и во многом преобразит облик нашего мира. За прошедшие десятилетия компьютеры превратились из технической диковинки в мощный катализатор прогресса во всех сферах человеческого бытия.

Недолгий период романтического восхищения «чудом техники» сменяется эпохой широкого использования электронных вычислительных средств, эрой компьютеризации. Разнообразные ЭВМ становятся рядовым рабочим инструментом ученых, специалистов и практиков, представителей, пожалуй, всех областей знания. Сегодня за пультами и у дисплеев этого – теперь уже – обыкновенного «чуда» трудятся миллионы людей, а профессия, скажем, программиста оказалась одной из самых распространенных. Компьютеры заняли свое место в школьных

классах, они входят в наши дома в виде бытовых приборов, микрокалькуляторов, электронных игр.

Резкое расширение сферы применения компьютеров вплотную ставит огромное множество людей, которые раньше мало интересовались подобной техникой, перед настоящей необходимостью ознакомиться с принципами ее работы, ее возможностями, с условиями ее эффективного использования. Без преувеличения, наше время требует всеобщей компьютерной грамотности. В какой бы отрасли ни трудился человек, ему рано или поздно придется овладевать навыками работы с вычислительными средствами, ну а для молодежи достаточно свободное общение с компьютерами служит верным залогом успешного профессионального становления и совершенствования.

Аграрная наука и практика тоже, разумеется, не остаются в стороне от общего процесса компьютеризации. Более того, именно здесь открываются чрезвычайно широкие возможности для применения ЭВМ, особенно сейчас, когда в нашей стране осуществляются перевод экономики на интенсивный путь развития, внедрение новых методов хозяйствования, повсеместное использование достижений науки и техники.

В агропромышленном комплексе сейчас сосредоточены огромные и многообразные ресур-

сы, которые должны быть пущены в дело с наибольшей пользой. Но сельскохозяйственное производство относится к очень сложным видам человеческой деятельности, результаты которой зависят от большого числа быстро меняющихся и подчас трудно предсказуемых факторов. Для выработки эффективных решений здесь требуется способность оперативно и правильно ориентироваться в непростой и подверженной внезапным изменениям обстановке. Компьютеры как раз и позволяют сделать это своевременно и наилучшим образом, поскольку специально предназначены для того, чтобы на основе быстрой обработки обширных массивов информации всесторонне оценивать создавшуюся ситуацию и выдавать оптимальные рекомендации. Их использование сельскими специалистами в повседневной работе, в решении практических задач должно стать естественным и привычным.

Собственно, этому и посвящена наша книга. Она о компьютерах, о принципе их действия, устройстве и использовании в сельскохозяйственной практике. В ней приводится довольно много примеров «компьютерного» решения конкретных задач, которые постоянно возникают перед работниками агропромышленного комплекса. Примеры, конечно, в максимальной степени упрощены, схематизированы и носят иллюстративный характер, но вместе с тем достаточно наглядно отражают реальные условия,

в которых приходится действовать руководителям, специалистам и рядовым труженикам сельского хозяйства.

Разумеется, прочитав эту небольшую книгу, вы, конечно, не станете специалистом в области вычислительной техники и соответствующих математических методов, но вот интерес к ним, вероятно, почувствуете, расширите свой кругозор, овладеете началами компьютерной грамотности. Главное назначение книги, как и большинства научно-популярных изданий, — служить своеобразным ориентиром в той области знания, которой она посвящена. И если, прочитав ее, вы решите, что следующей для вас станет специальная книга по компьютерам и их применению, то автор с удовлетворением будет считать свою цель вполне достигнутой.

Глава 1 ВЕК ИНФОРМАЦИИ

Человек, по-видимому, создан, чтобы мыслить; в этом его достоинство, вся его заслуга; вся его обязанность в том, чтобы мыслить, как должно.

Б. Паскаль

Менее, чем за век, человек перешел из мира «человеческих возможностей», где он мог рассчитывать на свою физическую силу и умственные способности, в мир зависимости от машин, увеличивающих его силу в миллионы раз.

Д. Визнер

СЛОЖНОСТЬ – ПРОБЛЕМА СОВРЕМЕННОСТИ

Несколько столетий – срок исторически ничтожный, но как изменился мир в течение последних веков! Скажем, с XVII века – а это время великого реформатора России Петра I – население Земли увеличилось в семь раз. Еще 200 лет назад оно не достигало одного миллиарда, а сейчас нас впятеро больше, и к концу нынешнего тысячелетия человечество перешагнет 6-миллиардный рубеж. Темпы, что и говорить, впечатляющие. В результате же на планете, особенно в удобных для жителях регионах, стало значительно

теснее, и теперь требуется куда больше усилий, чтобы обеспечивать всех пищей, одеждой, кровом. Даже воды и чистого воздуха кое-где уже не хватает.

В помощь себе человек изобрел машины, много разных машин. Они облегчили его труд, но прибавили ему массу новых забот. Человеку теперь приходится думать не только о себе, но и о машинах – их производстве, использовании и ремонте. Причем и сами машины становятся год от года сложнее и требовательнее.

Вообще же разнообразные технические средства, используемые человеком, коренным образом преобразовали лик цивилизации, но создали и немало трудноразрешимых проблем. Техносфера оказывает всевозрастающее влияние на природу, в том числе и на человека. В новых условиях резко увеличиваются нагрузки на его психику, адаптационный аппарат. Люди чувствуют «тесноту» пространства еще и потому, что телефон, радио, телевидение, спутниковая связь, которые вошли в быт на наших глазах, превратили жителей даже самых отдаленных уголков планеты в близких соседей.

Наш современник должен больше знать, чем его предок, а главное – уметь сразу схватывать и усваивать новые знания, обрушивающиеся на него подобно лавине. Ему приходится жить и работать в атмосфере быстрых изменений, в стремительном потоке разнообразнейших явлений. Еще совсем недавно мы могли рассчитывать, что тех знаний, которые получены в школе и в процессе профессионального обучения, в основном хватит до выхода на пенсию. Сейчас в условиях научно-технической революции, сопровождающейся очень быстрым и существенным

совершенствованием материального мира, положение меняется радикальным образом. Человек больше ценится не за те знания, что он накопил, а за способность воспринимать новые. Особенно усложнились процессы управления и в производственной, и в социальной сферах.

Почему мы заговорили о сложности мира, в котором сейчас живем, собираясь обсуждать возможность и целесообразность использования компьютеров в сельском хозяйстве? Ведь аграрная продукция сохраняется неизменной в течение тысячелетий. Хлеб, молоко, мясо, сырье для переработки крестьяне производили всегда. Да и сельские работы остались прежними: пахота и боронование, сев и жатва, уход за животными...

И все-таки в сельском хозяйстве очень многое изменилось, а производство аграрной продукции стало даже более сложным, чем выпуск промышленных изделий. «Экономические эпохи,— отмечал К. Маркс в «Капитале»,— различаются не тем, что производится, а тем, как производится, какими средствами труда».

Вот тут-то и произошли самые кардинальные изменения. Древнейшее занятие человека вступило в эпоху резкой интенсификации. Иначе и быть не могло. Раньше бóльшая часть человечества занималась крестьянской работой, сейчас в развитых странах несколько процентов населения кормят своих сограждан да еще и экспортируют аграрную продукцию. А между тем сельскохозяйственных угодий на каждого из нас приходится все меньше—землю отбирают города, транспортные магистрали, энергетика, промышленное строительство, немало ее убывает и из-за деградации почвы. Чтобы меньшими силами и при дефиците площадей по-

лучать необходимое количество аграрной продукции для непрестанно растущего и все больше потребляющего человечества, понадобилась резкая интенсификация сельского труда, а она возможна лишь на основе его индустриализации.

В сельское хозяйство пришли машины, передовые технологии, новейшие достижения человеческой мысли. Коренным образом изменились способы и средства крестьянского труда. Современный крестьянин вооружен мощной и сложной техникой, к его услугам наука и промышленное производство. И хотя многовековая аграрная практика накопила огромный полезный опыт, теперь только этого наследства явно недостаточно. Действительно, чтобы получить по 6 тысяч килограммов молока в год от каждой коровы или по 80 центнеров зерна с гектара, одним крестьянским навыком и трудолюбием не обойдешься. Подсчитано, что в развитых странах до 90 процентов ежегодного прироста сельскохозяйственной продукции обеспечивается за счет интенсификации аграрного производства, за счет использования достижений научно-технической революции.

Неизмеримо возросла сложность сельского труда, а это потребовало от современных аграриев новых знаний, высочайшего профессионального уровня, совсем иного подхода к организации сельскохозяйственного производства и обслуживающих его отраслей, в целом к управлению аграрно-промышленным комплексом.

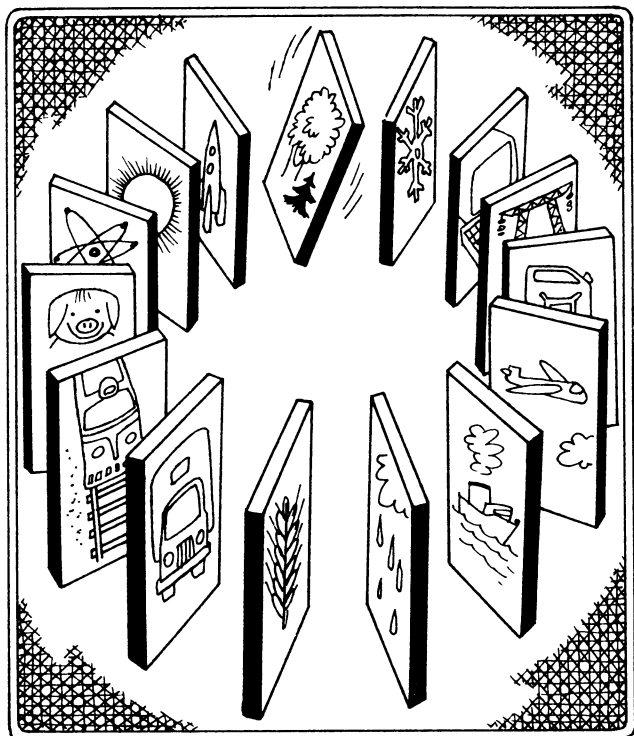
Когда речь заходит о сложности, подразумевается сложность **системы**. Понятие «система» будет часто встречаться на страницах нашей

книги, поэтому нелишне пояснить, что оно обозначает.

В технике системой называют набор или множество взаимосвязанных элементов, предназначенных для выполнения надлежащих функций, для решения некоторой задачи. Говоря о системе, мы подразумеваем какую-либо совокупность элементов, обладающую определенной цельностью, единством. У всей системы должны быть цель, назначение. В глобальном же смысле понятие «система» охватывает обширнейший круг объектов — от атома до Вселенной — словом, так или иначе все, что существует в мире.

Системы различаются своей сложностью. Очевидно, что сложность системы зависит от количества входящих в нее элементов. Ну, положим, такой немудреный пример. Сцепка из десяти борон сложнее одной бороны. Но сколько бы борон ни было соединено в сцепке, они образуют более простую систему, чем, скажем, тянущий их по полю трактор. При оценке сложности системы играет роль не только общее число ее элементов, но и их разнообразие. Бороны состоят всего из нескольких деталей: зубья, планки, болты, гайки — вот, пожалуй, и все. У трактора же около двух тысяч разнообразных деталей.

Однако трактор куда проще по сравнению с такой, например, организационно-технической системой, как машинный парк колхоза или совхоза. В работе трактора многое предопределено. Зная положение какой-либо подвижной его детали, мы можем с достаточной достоверностью сказать, в каком положении находятся и все остальные, с ней связанные — коленчатый



вал, поршни, шатуны и т. д. Взаимное перемещение деталей в тракторе строго диктуется его конструкцией. Иначе обстоит дело с машинным парком хозяйства. Никто не возьмет на себя право с полной уверенностью предсказать, где и как будет действовать каждая машина завтра. Может пройти сильный дождь и сорвать намеченные работы. Не исключено, что в ка-

кой-то машине произойдет поломка. Да мало ли других причин, которые могут привести к нарушению составленных заранее планов и графиков! Недаром мы так любим ссылаться здесь на «объективные трудности», главные из которых, как иногда горько шутят, — весна, лето, осень и зима.

Сложные технические системы становятся неотъемлемой частью нашего мира, и человек начинает зависеть от них повсюду. Более чем справедливо это для сельского хозяйства, где людям и созданным им машинам приходится иметь дело с природными процессами и биологическими объектами. А что может быть сложнее живого?! Значит, как говорится, и техника должна соответствовать.

Со сложностью современных производственных систем и технических устройств тесно связано такое их качество, как надежность. Проблема обеспечения высокой надежности техники, от которой зависит наше благополучие, а иногда и жизнь, выдвинулась сейчас в число первостепенных.

Было время, когда ученые, стремясь познать человека, уподобляли его машине и пытались все свести к законам механики и физики. Ныне, имея дело с машинами, мы часто прикладываем к ним человеческие мерки. Говорим о чувствительности приборов, о памяти и интеллекте компьютеров, о надежности техники. Надежность человека или машины — это, в сущности, степень доверия, которое мы к ним испытываем. Надежным товарищем мы называем того, на кого в любых обстоятельствах можно положиться. Машина, когда мы уверены, что она не подведет, тоже считается надежной, ну а про ту,

которая чуть ли не поминутно ломается, конечно, так не скажешь.

С проблемой надежности очевиднее всех столкнулись специалисты, связанные с созданием и эксплуатацией сложных электронных устройств. Обычные конторские счеты практически безотказны, чего нельзя сказать, например, о компьютере, состоящем из многих тысяч деталей – не одна, так другая может выйти из строя и помешать выполнению работы. Поэтому с усложнением техники появилась специальная наука – теория надежности, которая занимается такими неприятными явлениями, как поломки технических устройств. Ее основная задача – прогнозирование возможных аварий, чтобы их предотвратить или, вернее, свести к минимуму.

Но речь не только о теории надежности, хотя нам еще придется к ней вернуться, а о том, что сложность современного мира вызывает к жизни все новые и новые научные направления. Например, сравнительно недавно начали бурно развиваться кибернетика, теория информации, теория очередей, программирование и ряд других дисциплин, тесно связанных с происходящей сейчас научно-технической революцией. Достижения теоретической мысли двигают вперед практику, и наоборот, потребности практики стимулируют развитие знания, появление новых направлений научного поиска. Одним из них стала информатика.

ИНФОРМАЦИОННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

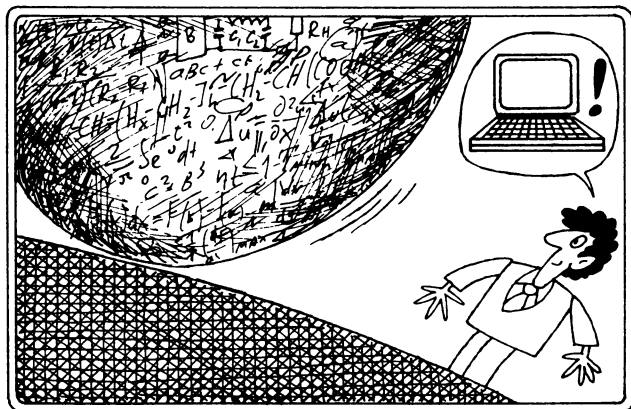
Общественное производство зиждется на трех китах – это материалы, энергия и... впро-

чем, о третьем, чтобы заинтриговать читателя, до времени умолчим. Скажем только, что на тех этапах, которые прошла материальная культура, каждому киту предстояло видоизменяться и играть свою особую роль.

На заре человечества наиболее существенные изменения в производстве и в образе жизни людей были связаны со сменой используемых материалов. Эти перемены зафиксированы в названиях исторических эпох. Был каменный век, который на самом деле длился несколько тысячелетий, пришел бронзовый, наступил век железа. Поиску новых материалов и сейчас уделяется большое внимание – наше время иногда даже называют веком синтетики, отдавая должное этому удивительному материалу. Но подлинно революционные перемены в облике современного производства сейчас усматривают в изменении не материалов, а других его компонентов.

Долгие тысячелетия основным источником энергии в производстве были мышцы людей и одомашненных животных. Определенное значение приобрели водяные и ветряные двигатели, которые, заметим, будучи экологически чистыми, переживают сегодня свое второе рождение. Но потребности человечества росли, а энергии не хватало. Примерно триста лет назад была изобретена паровая машина, неизмеримо увеличившая мощь человека. Затем один за другим появились и иные двигатели. Стремительно разворачивалась эпоха промышленного, машинного производства, получившая название промышленной революции, которую теперь именуют первой промышленной, чтобы отличить от нынешней – научно-технической.

Пора, кажется, раскрыть наш секрет и назвать третьего кита материального производства. Речь идет об **информации**. Кстати, в некоторой задержке с ее расшифровкой у нас был свой резон: ведь до сравнительно недавнего времени этот компонент прогресса не привлекал особого внимания. Конечно, информация всегда играла в жизни общества большую роль. Мастера передавали сведения о ремесле своим ученикам, крестьянские поколения наследовали мудрость дедов и отцов, астрономы составляли атласы звездного неба, путешественники рисовали карты неведомых земель, архитекторы делали чертежи построек, бухгалтеры подсчитывали доходы и расходы, хозяева фабрик заключали сделки, экономисты составляли планы, получали отчеты, но вся эта и прочая информационная деятельность до поры до времени не выдвигала каких-то особых проблем, тем более к услугам людей были рукописи, книгопечатание,



телефон, телеграф, радио и другие средства коммуникации.

Но к середине нашего века положение с информацией резко изменилось. Все вдруг увидели и ощутили, насколько усложнился окружающий мир и как стремительно и лавинообразно продолжает нарастать этот процесс. В частности, сложность экономических, организационных и технологических проблем порождает постоянно растущие потоки информации, необходимой для успешного управления на всех производственных уровнях. И как некогда потребности общества вызвали к жизни новые источники энергии, паровую и электрическую силу, двигатель внутреннего сгорания, так и теперь необходимость в переработке огромных потоков информации стимулировала создание специальных технических устройств – электронных вычислительных машин (ЭВМ), которые сейчас чаще называют компьютерами. Подсчитано, например, что в США переработкой информации заняты свыше ста тысяч ЭВМ, а без них для этого потребовалось бы 500 миллиардов человек, то есть в 100 раз (!) больше, чем все население планеты.

Компьютеры, появившиеся между двумя великими, хотя и по сути полярными техническими событиями – изобретением атомной бомбы и запуском первого искусственного спутника Земли, могут с полным правом служить олицетворением современной научно-технической революции. Как бы ни называли наше, столь богатое крупными открытиями время – атомным веком или эпохой космических полетов, но, видимо, масштабную компьютеризацию следует считать самым существенным его фактором. И если

раньше техника облегчала физическую работу человека, то теперь компьютеры помогают ему в умственном, творческом труде. Кстати, по темпам роста производство вычислительной техники превосходит все остальные отрасли промышленности.

Современная научно-техническая революция – это прежде всего революция в способах и средствах сбора, передачи, хранения и обработки информации на основе широчайшего использования ЭВМ. Более того, производство и применение компьютеров могут служить своеобразным показателем уровня развития общества.

ИНФОРМАЦИЯ ВООБЩЕ И В ЧАСТНОСТИ

Познакомившись с тремя китами материального производства, мы сделали обоснованный вывод о том, что не только материалы, энергия, но и информация является мощной созидательной силой. В сущности, так было всегда, но теперь в связи с усложнением всех сфер нашей жизни это стало особенно заметным.

Закон причинности, который был известен еще древним грекам, утверждает, что ничто в мире не происходит без причины. Каждое явление чем-то порождается, и, наоборот, любое событие обязательно оставляет последствия, а значит, служит причиной для других событий. По сути дела, на этом законе держится вся современная наука.

Существует два вида причин, определяющих ход событий: энергетические и информационные. Для пояснения данного положения обратимся к самому простому примеру. Трактор, как всем известно, приводится в движение энер-

гией топлива, сжигаемого в цилиндрах его двигателя. Таким образом, можно сказать, что это и есть причина движения трактора. Чем мощнее трактор, следовательно, чем больше топлива впрыскивается в его цилиндры, тем большую работу он способен выполнить. Но вполне допустима и другая точка зрения. Не будет ошибкой, если мы скажем, что причиной движения данного трактора является не энергия топлива, сгорающего в его цилиндрах, а распоряжение бригадира о начале работы, то есть информация, которая сообщена трактористу. Очевидно, что количество работы, а главное, ее полезность, зависят не только от мощности трактора, но и от разумности распоряжения бригадира. Какую бы мощность ни имел трактор, сколько бы топлива ни сгорело в его цилиндрах, если его будут бестолково перегонять с поля на поле, он сделает мало работы и особой пользы не принесет.

Выходит, информация тоже является производительной силой, и от ее количества и качества существенно зависит эффективность производства. Это стало особенно заметным в последнее время в связи с тем самым усложнением нашей жизни, о котором мы уже неоднократно упоминали. Зачастую просчеты и потери возникают не потому, что нам не хватает каких-то ресурсов, а потому, что мы не всегда знаем, как правильно распорядиться имеющимися возможностями и не всегда умеем достаточно верно прогнозировать последствия тех или иных наших решений. Доброкачественная информация – вот тот ресурс, которого нам сейчас заметно не хватает.

Однако мы пока не сказали, что же, соб-

ственно, такое информация. Вопрос, увы, не столь уж и простой. Может быть, нам поспособствует происхождение самого термина? Латинское *informatio* означает разъяснение, изложение. Пожалуй, мы не очень продвинулись. Правда, дальше энциклопедический словарь достаточно популярно расшифровывает: «Общественное понятие, включающее обмен сведениями между людьми, человеком и автоматом, автоматом и автоматом, обмен сигналами в животном и растительном мире, передачу признаков от клетки к клетке, от организма к организму».

Выходит, это практически всякое сообщение, которое передается и принимается. Тут можно дать волю фантазии. Фраза на любом языке и дымовой сигнал древних воинов, шумерская клинопись и тревожные «SOS», узелковый алфавит майя и телеграмма, засечка на дереве и едва уловимый запах, сугубо личное письмо и газетная публикация, приватная беседа и громогласные ораторские выступления на массовых митингах, лесное «ау» и «бип-бип-бип» первого советского спутника – все это и многое другое есть информация.

Роль информации в жизни общества чрезвычайно велика. Любое производство, любой вид деятельности не может существовать без информационного обеспечения. Но информация должна быть соответствующим образом отбрана, представлена, упорядочена, дисциплинирована. Сколько мы знаем всяческих контор, которые, едва возникнув, бывают буквально завалены невесть откуда взявшимися «входящими» и «исходящими». Бесконечные справки, отчеты, заявки – на их подготовку уходит основное

время не только работников, занятых в сфере управления, но и специалистов на производстве. Деловые бумаги, которые, казалось бы должны служить окном в пестрый мир производственной жизни, нередко превращаются в плотные, наглухо отгораживающие от нее шторы. Справедливо критикуя многие ведомства за бумажную круговерть, которой подменяют живое дело, мы не должны забывать, что и без информации управлять производством невозможно. А ведь ее потоки нарастают чуть ли не в геометрической прогрессии. Таким образом, сбор, передача, хранение, обработка и использование информации, позволяющей находить правильные решения, превратились в большую и трудную проблему, справиться с которой призваны помочь компьютеры и другая электронная техника.

Возросшая роль информации во всех сферах производственной и социальной жизни стимулировала появление в 40-х годах нашего столетия специальной науки – теории информации. Ее основоположником считается выдающийся американский математик и инженер Клод Шеннон.

Всякая теория начинается с уточнения используемых ею терминов. И хотя мы уже довольно много сказали об информации, суть этого термина лучше всего пояснить, связав его с понятием «*неопределенность*». О неопределенности говорят, когда рассматриваемая ситуация может иметь несколько исходов. Так, завтра может пойти дождь, а может обойтись и без осадков. Посылаемый в поле комбайн может исправно проработать целый день, но в любой момент не исключена и поломка. Неопределенность – это то же самое, что и недостаток инфор-

мации. Чем больше неопределенность ситуации, тем больше информации о ней не хватает. Напротив, информация подразумевает некоторые сведения, которые позволяют уменьшить или даже устранить неопределенность.

Такова связь неопределенности и информации, но как их оценить числом? Язык точной науки – четкость и определенность, число и формула. Пока научному понятию не найдена количественная мера, его нельзя использовать для построения теории.

Рассмотрим в качестве примера неопределенности классическую задачу о подброшенной монете. Возможны два исхода: монета может лечь вверх той стороной, где выбит герб, или той, на которой значится ее номинальная ценность, по-старому, орлом или решкой. Если начнем угадывать заранее и после многих подбрасываний подведем итог, то окажется, что примерно в половине случаев мы предсказали результат правильно и в половине – ошиблись.

Будем теперь подбрасывать одновременно четыре монеты. При каждом броске возможны 16 исходов: первая монета упадет вверх гербом, а остальные три – решкой, вторая – вверх гербом, а остальные – решкой и т. д. Предугадать результат падения четырех монет значительно труднее, чем одной. Если обозначить выпадение герба нулем, а решки – единицей, то все 16 возможных исходов одного броска четырех монет можно изобразить так:

0	1	2	3	4	5	6	7
0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111
8	9	10	11	12	13	14	15
1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111

Предсказание результата бросания четырех монет оправдывается только в одном из 16 случаев. Очевидно, что неопределенность результата здесь выше, чем когда мы имели дело с одной монетой. В целом же можно сделать вывод, что неопределенность ситуации устраняется при получении соответствующей информации, причем чем больше неопределенность, тем больше информации требуется для ее устранения.

Физическим носителем информации является сигнал, в котором она представляется набором символов. В обычном печатном тексте фиксирующими информацию символами служат буквы, цифры, знаки пунктуации – несколько десятков различных изображений. А вот в телеграфии для передачи любого сообщения используются комбинации всего двух знаков: тире и точка. Двумя же знаками – импульс и пропуск – кодируется информация в системах автоматики и в вычислительных машинах.

За меру количества информации можно было бы принять число n символов, передав которые, мы полностью устраняем неопределенность ситуации. Для сообщения о том, выпала при бросании одной монеты решка или орел, достаточно двух символов: 0 и 1. Но чтобы выявить результат бросания четырех монет, нужно использовать уже 16 символов. По ряду причин информацию оказалось удобнее оценивать логарифмом по основанию 2 от числа используемых символов:

$$H = \log_2 n.$$

При сообщении результата бросания одной монеты количество информации равно 1:

$$H = \log_2 2 = 1.$$

Эта очень важная в информатике величина, которая устраняет неопределенность ситуации, имеющей два возможных исхода, служит универсальной единицей измерения информации и называется *бит* (от английского binary digit – двоичная цифра). Тогда, например, количество информации для сообщения о результате падения четырех монет $H = \log_2 16 = 4$ бит.

Таким образом, в информатику была введена численная оценка, единица измерения, а это имеет огромное практическое значение.

Надо признаться, что до сих пор мы несколько упрощали дело. Теперь нам понадобится еще одно понятие, тесно связанное с неопределенностью и информацией, – *вероятность*.

В повседневном обиходе им обозначают догадку, недостоверное знание, более или менее правдоподобное предположение. Ту или иную степень уверенности в наступлении какого-либо события оценивают словами «невероятно», «маловероятно», «очень вероятно» и в соответствии с этим планируют свои действия. Когда о каком-то событии утверждается, что его вероятность мала, допустимо вести себя так, будто оно вообще не произойдет. И наоборот, если, по нашим оценкам, вероятность события велика, то к его наступлению мы должны быть вполне готовы. Но в любом из этих случаев ситуация достаточно ясна, и мы можем поступать вполне уверенно.

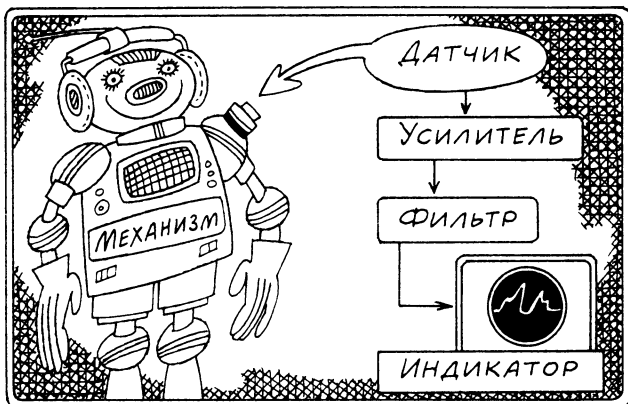
Куда бóльшие сомнения и связанные с ними затруднения у нас возникают, когда вероятность наступления события ни мала ни велика. Чтобы

снять досадную неопределенность и действовать увереннее, требуется дополнительная информация, которая должна количественно учитывать вероятность наступления тех или иных событий. Эти возможности предоставляет нам математическое направление, названное *теорией вероятностей*.

Сама же теория информации первично была создана для решения практических задач проектирования систем связи. Ее центральная проблема – передача сообщений по каналу связи, в котором возможны их искажения. Эта теория предлагает ряд методов очищения сигнала от искажающих его помех, обеспечивая тем самым получение достоверной информации. Но по мере развития науки оказалось, что область применения теории информации значительно шире. Управление производством в живых организмах в обществе – все это приложения возможностей информатики.

А мы, чтобы дать представление об использовании теории информации при решении конкретных задач сельскохозяйственной практики, немного расскажем о *технической диагностике*, в которой находят свое применение достижения этой науки. И дело того стоит – ведь потери от аварий и простоев машин чрезвычайно велики.

То, что машины ломаются, – это еще полбеды, плохо, что они выходят из строя внезапно. Мы еще не раз будем подчеркивать пагубную роль случайности в производственных процессах. Что же касается инженерной службы колхозов и совхозов, то здесь ежедневно возникают такие, например, вопросы. Достаточно ли надежна машина и можно ли ее посылать на работу в поле? Нуждается ли она сейчас в



регулировке или ремонте? Какие детали следует заранее подготовить, чтобы побыстрее ликвидировать неисправность? Ответ на эти и многие другие вопросы призвана дать техническая диагностика, которая, собственно говоря, представляет собой процесс обследования машины с целью оценки ее состояния и прогнозирования ее поведения в будущем.

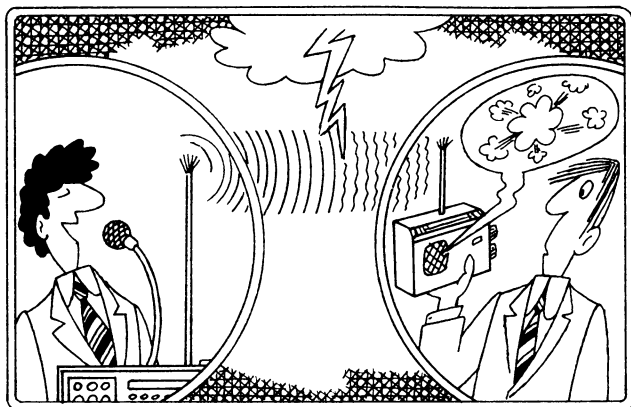
Потребность в технической диагностике вызывается тем, что состояние деталей машины в период ее эксплуатации подвержено изменениям, многие из которых происходят скрытно, недоступно для непосредственного наблюдения. Информацию о состоянии деталей машины нам доставляют сигналы, причем часть из них может быть воспринята нашими органами чувств, а другие – датчиками специальных приборов. «Симптомами болезни» техники, если обратиться к медицинской терминологии, служат цвет

выхлопных газов двигателя, температура в различных его точках, шум, стуки в машине и т. д.

Диагностика – это прежде всего процесс получения, обработки и использования информации, поэтому ее научной основой служит теория информации.

Перед обследованием состояние машины неопределенно, нам не известно. Задача диагностики – устранить эту неопределенность. Поэтому первая проблема, решению которой должна помочь теория информации, заключается в оценке, достаточно ли сведений содержится в диагностическом сигнале (в «симптомах»), чтобы неопределенное состояние машины сделать определенным. Эта информация поступает как бы в зашифрованном виде, и получатель, декодируя сигнал, извлекает из него нужные сведения. Отправителями же информации могут считаться, например, кинематические пары механизма. При появлении в них дефектов (скажем, зазора в подшипниках, крестовинах, зацеплениях зубчатых шестерен и т. д.) возникают удары в сочленениях, формирующие колебания механизма, иначе говоря, сигнал, в котором закодирована интересующая нас информация. Вообще же, вопросы кодирования и декодирования сигналов составляют существенную часть теории информации.

При передаче информации по каналам связи она всегда подвергается искажениям – к полезному сигналу примешиваются помехи, затрудняющие правильную его расшифровку. Разработка методов очищения сигналов от помех представляет собой одну из основных задач теории информации. Применительно к нашему примеру эта задача состоит в том, чтобы выделить по-



лезный сигнал – колебание конкретной кинематической пары из всего того фона, который порождается работой других деталей и тоже воспринимается установленным на машине датчиком. Научную основу для решения подобных вопросов дает тот раздел теории информации, который посвящен способам очищения полезного сигнала от сопутствующих помех.

Популярная литература по технической диагностике, увы, не слишком богата. Подробнее с этой интересной темой можно познакомиться в книге Б. В. Павлова «Диагностика «болезней машин», выпущенной в свет издательством «Колос» в 1978 году.

ЗНАНИЕ – СИЛА

Термин «научно-техническая революция», которым обозначают наше время, многогранен.

Но прежде всего им хотят подчеркнуть, с одной стороны, огромную роль знаний в жизни современного общества, а с другой – стремительность происходящих перемен. Поэтому закончить эту вводную главу, видимо, следует коротким рассказом о науке, о научном методе – их значении и особенностях.

Хотя накопление знаний не учитывается статистикой при подсчете валового продукта, они являются важной составляющей национального богатства. Продукты человеческого разума превращаются в новые материалы, технологии, более совершенные машины, в полезные для людей вещи, делая нашу жизнь богаче и содержательнее. Знания, добытые наукой, позволяют экономить труд, энергию, сырье, беречь среду обитания человечества, то есть выступают в экономике как вполне реальный ресурс, причем тот единственный, который со временем не только не истощается, но увеличивается, улучшается качественно, становится доступнее для использования.

Наука всегда была связана с производством и материальной культурой общества, но долгие века она как бы следовала за практикой, питалась ее достижениями. Усовершенствования в технике служили импульсом для их научного осмысления, развитие ремесла способствовало появлению новых исследовательских приборов, расширение производства материальных благ облегчало обществу содержание науки.

В те давние времена наука обслуживала в основном духовные потребности людей, удовлетворяла их естественное любопытство, стремление к познанию, уточняла их представления об устройстве мироздания. В науке бушевали

страсти, гремели свирепые битвы между учеными мужами, свершались научные перевороты и революции, появлялись герои и мученики, но все это происходило незримо для подавляющего большинства людей, обремененных повседневными заботами. Творцами материальных благ тогда были бесстрашные мореплаватели, хитрые финансисты, деловитые фабриканты и, конечно, талантливые изобретатели, трудолюбивые крестьяне, умелые мастеровые и ремесленники.

Слова, приведенные в заголовке, принадлежат Френсису Бэкону. Сказанные четыре века назад, они были скорее пожеланием, мечтой великого английского ученого, а не утверждением о фактическом положении дел.

Сейчас наука вошла в жизнь каждого человека, и любой из нас постоянно пользуется ее плодами. Путь науки был долог и тернист, прежде чем она превратилась в могучую производительную силу. Своими достижениями в энергетике, электронике, машиностроении, транспорте, в создании новых материалов мы обязаны науке. И в сельском хозяйстве – освященном тысячелетиями занятии людей – высокопродуктивные сорта растений, породы скота и многое другое, без чего сейчас не может существовать человечество, рождены наукой.

Самой древней считается «небесная» наука – астрономия. Но ее вызвали к жизни сугубо земные потребности. Так, астрономия дала крестьянину календарь, точное предсказание смены времени года, столь необходимое в сельском труде. Но этим, конечно, не ограничиваются заслуги астрономии. Благодаря ей было открыто, что окружающий нас пестрый мир со

своими стихиями и кажущимся хаосом управляется строгими законами природы, которые можно познать и использовать во благо человеку.

Наука – это не только свод неких сведений, полученных в результате наблюдений, и не сборник практических советов, но прежде всего объяснение, почему те или другие факторы действуют так, а не иначе. Задача науки – обнаружение определенного порядка в изучаемых явлениях, выявление скрытых причин, управляющих ходом событий и процессов, описание обнаруженного порядка в форме законов и правил. Знание основополагающих законов, которым подчиняются процессы и явления, дает нам возможность предвидеть их развитие, а значит, действовать сообразно с ними, учитывать их в конкретных делах. В этом и состоит практическая ценность науки.

Наука основана на справедливом предположении, что законы природы действуют везде и всегда с одинаковым постоянством. Но, с другой стороны, следует помнить, что та или иная открытая нами закономерность имеет ограниченную сферу применения, что она справедлива только для строго определенных условий. И еще: познание носит относительный характер, поэтому теории и сформулированные в них законы по мере развития науки могут уточняться и даже изменяться.

В своем развитии наука проходит несколько этапов. Она начинается со сбора, систематизации и осмысливания установленных фактов. Многие науки, такие, например, как география, психология, социология, и сегодня находятся на этой фазе развития, поэтому их называют опи-

сательными. Сельскохозяйственная наука накопила, опираясь на опыт тысячелетий, огромное количество разнообразных фактов и практических приемов, до недавнего времени также была описательной, а во многом еще и сейчас такой остается.

Следующий этап развития науки наступает, когда от описания и систематизации фактов она обращается к их анализу, объяснению, к установлению между ними устойчивых связей, к выявлению причин и сущности изучаемых явлений. На этом этапе возникают *гипотезы* – предварительные выводы на основе имеющихся данных о предполагаемых закономерностях в рассматриваемых явлениях. Гипотеза создается для понимания связи между разнородными фактами, взаимного их согласования, выявления причин и следствий. Если гипотеза выдерживает тщательную и всестороннюю проверку, она превращается в *научную теорию*. Совершается открытие нового закона, который управляет реальными событиями и процессами.

Люди практического склада часто склонны пренебрежительно относиться к теориям, считая их забавами праздного ума ученых мужей, оторванных от жизни, творящих в тиши кабинетов и лабораторий. Отчасти в этом виноваты сами ученые. Так, повелось, пожалуй, с тех времен, когда научные трактаты писались на латинском языке, который был неведом простым смертным. Но и нынешний язык формул, специфических терминов и условных обозначений немногим легче. Поэтому популяризация научных достижений – сегодня важнейшая задача, а ее, заметим, решает и тот вид литературы, к которому относится и наша книга.

Но дело не только в этом. Постигание научных истин требует большого напряжения ума и трудолюбия не только от их первооткрывателей, а и от тех, кто хочет воспользоваться плодами науки. Иначе и быть не может. В современном сложном мире, в век стремительных перемен любому практическому работнику нужны обширные глубокие знания в своей области. Более того, способность воспринимать новое и умение постоянно учиться.

Родоначальник квантовой физики М. Планк как-то заметил, что «нет ничего практичнее хорошей теории». В самом деле, «хорошая теория» позволяет разобраться в явлении, разграничить известное и неизвестное, систематизировать опытные данные, сформулировать проблему, наметить программу практических действий, предсказывать ход событий, приобретая как бы свою власть над ними, предвидеть последствия тех или иных шагов. Это приближение к истине, а истина и наука – необходимые условия для практической деятельности.

Добыча новых знаний происходит в виде решения определенных задач, которые называются научными проблемами. Проблема – это осознанное противоречие. Жизнь полна противоречий, поэтому в решении мелких и крупных проблем и состоит ее сущность. Множество серьезнейших проблем выдвигает современное производство, и с некоторыми из них мы познакомимся в этой книге.

Как ни велик и разнообразен арсенал средств современного ученого, как ни многообразны предоставляемые ему обществом технические возможности, самым надежным и необходимым инструментом был и остается **научный метод**.

Ничто, никакие точнейшие приборы, никакой машинный интеллект не в состоянии его заменить.

Отличительная особенность научного метода – *объективность*. Истины в науке постигаются только на основе проверенных, надежно установленных факторов. Ученый не имеет права принять за истину укоренившееся заблуждение или мнение высоких начальников, если факты говорят о другом. Другая особенность научного метода – *доказательность*. Каждый вывод учебного должен подтверждаться логикой, расчетами и опять-таки, конечно же, фактами. Научный метод требует точности и определенности в выводах. «Самый верный признак истины – это простота и ясность. Ложь всегда бывает сложна, вычурна и многословна», – верно заметил Л. Н. Толстой. Уже по самой своей сути научный подход диалектичен, он никогда не претендует на непогрешимость, и ученый, коль возникли сомнения, в любой момент должен быть готов вернуться к истокам проблемы, вновь и вновь пройти весь путь к ее решению.

Проникновение научного мышления во все сферы жизни, в том числе и в производственную, широкое использование научных методов – наиболее характерная черта нынешней научно-технической революции, ну а ее верный помощник и своеобразный символ – пожалуй, электронно-вычислительная машина, современный компьютер.

Глава 2 КОМПЬЮТЕР

Когда человек рассуждает, он лишь образует в уме итоговую сумму путем сложения частей... ибо рассуждение есть не что иное, как подсчитывание.

Т. Гоббс

Отдайте же человеку – человеческое, а вычислительной машине – машинное. В этом и должна, по-видимому, заключаться разумная линия поведения при организации совместных действий людей и машин.

Н. Винер

ЕГО СТРУКТУРА

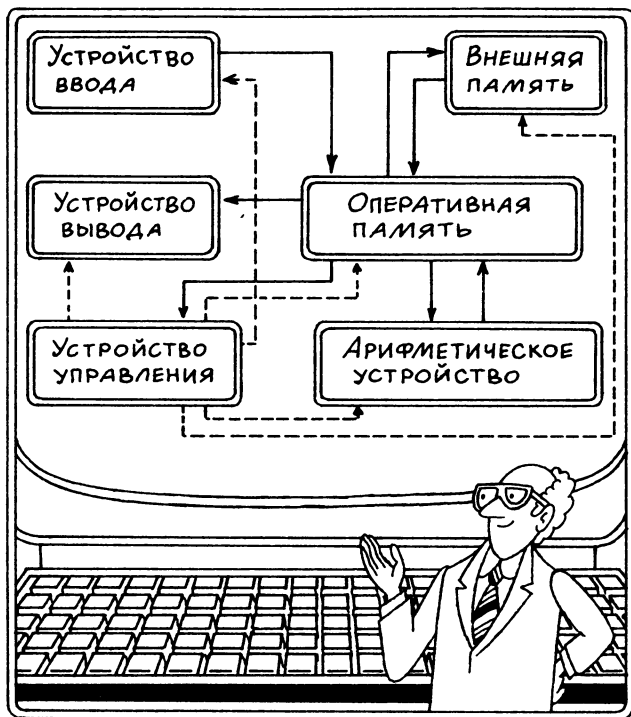
Компьютер в общем виде – это сложный комплекс, совокупность электронных устройств, обеспечивающих автоматическое выполнение трудоемких и громоздких вычислений. Свое название он получил от латинского слова *computo* – считать, вычислять. Сам термин сравнительно недавно стал укореняться в русском языке вместо прежнего – электронная вычислительная машина (ЭВМ), так что мы будем на равных пользоваться тем и другим, не подразумевая между ними никаких различий.

Решение любой задачи можно разбить на последовательность шагов – отдельные операции. Каждая операция выполняется компьютером по специальной команде. Набор таких команд, записанных на «понягном» компьютеру языке, образует *программу* вычислений. Программа составляется заранее и вместе с исходными расчетными данными вводится память машины, после чего компьютер действует самостоятельно и выдает готовый результат. Использование сменных программ и делает ЭВМ универсальным и гибким инструментом для обработки информации.

Первые ЭВМ создавались как мощные и быстродействующие устройства для выполнения громоздких и сложных расчетов, но очень скоро выявились возможности их использования и в других сферах – от управления производством до компьютерных игр, от государственного планирования до составления семейного бюджета. Родившись на наших глазах, электронная вычислительная техника активно завоевывает все новые и новые области применения, ускоряя научно-технический прогресс.

Компьютер представляет собой автоматически действующую машину, в которой поданная исходная информация обрабатывается согласно заложенной программе и выдается в ином виде – как конечный результат. Соответственно любой компьютер имеет одно или несколько *устройств ввода* программы и первичных данных, арифметическо-логического устройства – *процессора*, осуществляющего операции, предусмотренные программой, и *устройств вывода*, выдающих готовый результат.

Устройства ввода-вывода (их еще называют



оконечными или терминалами) – своеобразные средства общения между человеком и машиной. Первые ЭВМ могли воспринимать информацию только с перфокарт и с перфолент, на которых информация была закодирована специальным расположением отверстий на картонной карточке или бумажной ленте. Современные же компьютеры располагают широким и разнообразным набором терминалов. В качестве печатаю-

ших устройств используются телетайпы и скоростные электрические пишущие машинки, а отдельные модели компьютеров оснащаются еще более производительными устройствами, которые печатают сразу целую строку или даже группу строк. Для автоматического вычерчивания графической информации (диаграмм, схем, чертежей и т. д.) служат графопостроители.

Но наиболее важным и распространенным оконечным устройством, безусловно, является *дисплей*. Он позволяет вводить в компьютер и выводить из него информацию и наглядно отображать ее на таком же, как у телевизора, экране в буквенно-цифровом или графическом виде. С помощью дисплея можно вести настоящий диалог с компьютером: задавать ему вопросы, дополнять и корректировать информацию, находящуюся у него в памяти. Разрабатываются устройства, которые позволяют компьютеру воспринимать информацию, передаваемую голосом, а также голосом отвечать человеку.

Компьютер обладает и *запоминающими устройствами*, где хранятся программа вычислений, данные для расчетов, их результаты. Причем машинная память бывает двух видов: оперативная (быстродействующая) и долговременная (внешняя) большой емкости. Емкость памяти измеряется в *байтах*, она является важнейшей характеристикой машины. Байт — это количество информации, содержащейся в восьмиразрядном двоичном числе. Память разбита на ячейки, которые пронумерованы. Номер ячейки служит ее адресом. Числа, команды и другие элементы информации называются *словами*. Они размещаются в ячейках

памяти, и компьютер находит нужные данные по их адресам и передает для обработки в арифметическо-логическое устройство.

Первый вид памяти (ее еще называют внутренней или основной) используется компьютером непосредственно во время выполнения операций. Здесь в качестве запоминающих элементов обычно используются магнитные сердечники – очень маленькие колечки, изготовленные из ферромагнитной керамики, или полупроводники. Второй вид памяти играет роль архива или справочника, в нем хранятся большие массивы данных, которые могут понадобиться компьютеру по ходу дела. Тогда они переводятся отсюда в оперативную память. Долговременная память организуется обычно на магнитной ленте (вроде магнитофонной) или на магнитных дисках.

Работой всех блоков компьютера руководит *устройство управления*. Оно выбирает из памяти одну за другой команды программы и организует их выполнение. Важнейшая часть этого устройства – индикаторная панель, переключатели и световые индикаторы которой позволяют оператору следить, что происходит внутри ЭВМ, и вмешиваться в процесс обработки информации, если в нем обнаружатся какие-то нарушения.

Мощность компьютера определяется его быстродействием и емкостью памяти. Современные ЭВМ в течение секунды способны производить миллионы операций, создаются и машины, рассчитанные на миллиард операций в секунду. Что же до компьютерной памяти, то она в состоянии вместить энциклопедии, огромные архивы, целые библиотеки.

КОМПЬЮТЕРНАЯ АРИФМЕТИКА

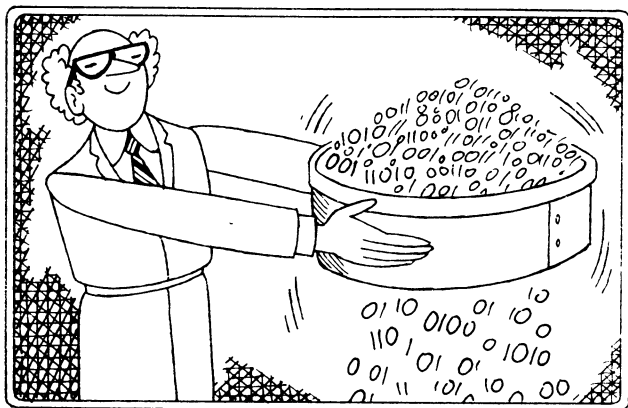
Прежде чем начать рассказ о работе компьютера, следует немного поговорить о способах, которыми можно представлять и записывать числа. Читателю, конечно, известны способы записи десятичными (арабскими) и римскими цифрами – так называемые системы счисления.

В римской системе числа представляются комбинациями знаков: I, V, X, L и т. д. Скажем, число 4 записывается как IV, а число 6 – VI. В арабской системе используется десять знаков – от 0 до 9, но значение каждого числа определяется не только цифрами, а и местом (разрядом), которое они занимают при записи числа. Эта система называется десятичной потому, что сдвиг любой цифры на один разряд изменяет величину числа в десять раз (например, 7; 70; 700 или 0,7; 0,07 и т. д.).

Однако основанием для представления чисел может служить не только десятка, а и любое другое число. Так, в двоичной системе счисления используются всего два знака: 1 и 0, причем сдвиг единицы на один разряд изменяет величину числа вдвое. Запись 1 и означает единицу, 10 – это уже 2, запись 100 – будет 4 и т. д.

Оказалось, что компьютеру наиболее удобно оперировать именно числами, зашифрованными по двоичному принципу. Ведь две цифры, которые используются в этой системе, легко представить электрическими импульсами: 1 – импульс есть, 0 – импульса нет.

Одну двоичную цифру называют *бит*. Впрочем, с ним мы уже познакомились, когда речь шла о количестве информации, содержащейся в



сообщении. Поскольку бит — очень маленькая величина, при оценке вместимости запоминающих устройств ЭВМ в качестве соответствующих единиц измерения принимают *байт*, содержащий в себе 8 бит, и *килобайт*, равный 1024 бит. Правда, обычно байт имеет не 8, а 9 двоичных разрядов. Дополнительный разряд используется как контрольный.

С числами, представленными в двоичной системе, можно производить те же действия, что и с десятичными числами. Таблица сложения двоичных чисел имеет такой вид:

$$\begin{aligned}0 + 0 &= 0 \\0 + 1 &= 1 \\1 + 0 &= 1 \\1 + 1 &= 10\end{aligned}$$

Для наглядности можно представить себе конторские счета, только на прутках у них

нанизано уже не по десять, а лишь по две костяшки. Скажем, операция $5 + 3 = 8$ в двоичной системе будет: $0101 + 0011 = 1000$.

Очень проста в этой системе таблица умножения:

$$0 \cdot 0 = 0$$

$$0 \cdot 1 = 0$$

$$1 \cdot 0 = 0$$

$$1 \cdot 1 = 1$$

Вообще говоря, машинная двоичная арифметика значительно проще школьной десятичной. Конечно, при ее использовании возникает необходимость производить довольно громоздкие действия по переводу чисел из одной системы счисления в другую, но ведь это автоматически выполняет компьютер, и пользователю, в сущности, нет заботы, какие операции машина производит с двоичными числами, поскольку и та информация, которая вводится в ЭВМ, и та, которая из нее выводится в форме готового решения задачи, представлена в привычной для нас десятичной системе счисления.

Современный компьютер производит действия не только с числами, но и с буквами, словами и целыми фразами. В него можно вводить текстовую информацию, в виде же текста он выдает результат. Так бывает, например, когда ЭВМ используют для перевода литературы с одного языка на другой. И в обрабатываемой компьютером управленческой документации также много текстовой формы записи. Буквы, слова и фразы кодируются в ЭВМ числами в двоичной системе, то есть циркулируют в его блоках в виде электрических импульсов.

Но компьютер не только и не столько автомат-вычислитель, он прежде всего устройство для обработки весьма разнообразной и разнородной информации. Помимо арифметических действий, ему приходится оперировать со всяческими высказываниями, производить с ними логические действия, сходные с теми, которые обычно приходится выполнять человеку, занятому рассуждениями. Способность «рассуждать» — одна из основных характерных особенностей ЭВМ, отличающих их от других технических устройств и позволяющих усиливать и расширять творческие, интеллектуальные возможности человека. Однако поскольку компьютер — все-таки машина, процесс «рассуждения» у него должен быть строго формализован. Свободное блуждание мыслей, которому нередко предаются люди, ему противопоказаны. У него своя — машинная, формализованная, математизированная логика, благодаря чему процесс рассуждений сводится к последовательности определенных стандартных операций.

Логика — это наука о формах и способах мышления, о правилах построения одних утверждений из других. Она изучает формы и законы рассуждений. Кстати, о существовании таких законов знали еще в древнем мире. Строгую систему логики, которой пользуются и поныне, разработал более двух тысяч лет назад древнегреческий философ Аристотель.

Правила логики очень похожи на правила арифметики. И действительно, английскому математику Джону Булю удалось разработать своеобразную алгебру, которую позднее стали называть математической логикой или исчислением высказываний. Здесь используется тот же

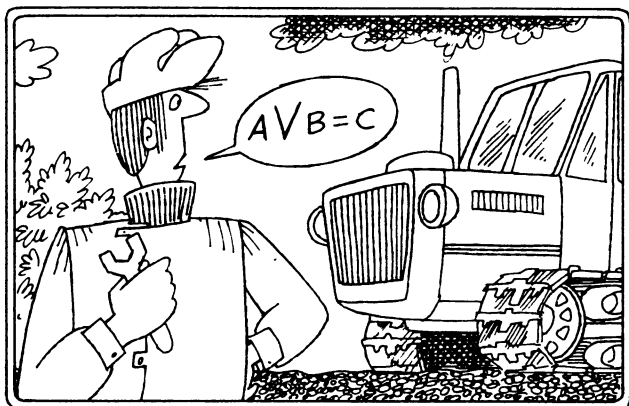
язык формул, что издавна применяется и в математике, а логические действия почти ничем не отличаются от арифметических.

В математической логике оперируют с высказываниями, которые обычно обозначают буквами A , B , C и т. д. Например, для руководителя хозяйства таким высказыванием может быть телефонный звонок инженера: «Сегодня вышли из строя два трактора». Высказывания оценивают только по их истинности или ложности и в первом случае его принимают за единицу, а во втором — за нуль. Тогда, если сообщение о числе аварийных тракторов соответствует действительности, $A = 1$, если же вкрались ошибка и сведения ложны, то $A = 0$.

Из нескольких высказываний можно составить новое, которое будет истинным или ложным в зависимости от тех же качеств входящих в него высказываний, а также от тех действий, которыми они подвергаются при составлении сложного высказывания. И все это представляется в виде математической записи. Как и в обычной арифметике, логические формулы включают в себя несколько элементарных действий (сложение, вычитание, умножение и т. д.) и последовательность их выполнения.

Логическое сложение (дизъюнкция, она же логическая функция «ИЛИ») двух высказываний обозначается так: $A \vee B = C$. Соответствующая таблица вычисления аналогична той, что приведена ранее для сложения двоичных чисел:

$$\begin{array}{l} 0 \vee 0 = 0 \\ 1 \vee 0 = 1 \\ 0 \vee 1 = 1 \\ 1 \vee 1 = 1 \end{array}$$



Значит, сложное высказывание, полученное путем логического сложения, ложно только в одном случае – когда ложны оба составляющих его высказывания, ну а истинно, если истинны оба или хотя бы одно из них. Обратимся к упрощенному примеру из близкой нам области и обозначим A высказывание: «Трактор имеет повышенный расход картерной смазки», B – «Выпускной дым его двигателя синего цвета», C – «Маслосъемные кольца двигателя изношены». Тогда формулу $A \vee B = C$ можно прочесть так: «Если трактор имеет повышенный расход картерной смазки или выпускной дым его двигателя синего цвета, то маслосъемные кольца двигателя изношены».

Логическое умножение (конъюнкция, она же логическая функция «И») – это такое сложное высказывание, которое истинно только в одном случае – когда истинны все составляющие его

высказывания. Логическое умножение записывается $A \wedge B = C$ и имеет следующую таблицу:

$$\begin{array}{l} 0 \wedge 0 = 0 \\ 1 \wedge 0 = 0 \\ 0 \wedge 1 = 0 \\ 1 \wedge 1 = 1 \end{array}$$

Если трактор представить как систему из трех основных блоков: двигателя, трансмиссии и ходовой части, и обозначить A высказывание: «Двигатель трактора исправен»; B – «Его трансмиссия исправна»; C – «Его ходовая часть исправна»; D – «Трактор исправен», то формулу $A \wedge B \wedge C = D$ можно прочесть так: «И двигатель, и трансмиссия, и ходовая часть трактора исправны, поэтому трактор исправен». Достаточно ложности хотя бы одного из составляющих этого утверждения, чтобы ложным оказалось и все заключение.

Все логические операции (а помимо рассмотренных, есть еще и несколько других) легко реализуются с помощью электрических и электронных схем. Из отдельных логических операций можно составить различные их комбинации. Проектирование каждого блока компьютера начинается с разработки логической формулы всех его действий, которые он должен выполнять. Таким образом, математическая логика служит основой теории ЭВМ. Она позволяет анализировать электронные схемы компьютера и искать возможности их оптимизации.

НЕМНОГО О ПРОГРАММИРОВАНИИ

Каким бы сложным ни представлялось устройство компьютера, сколько бы мы ни пре-

возносили его возможности, он, по сути, тот же «ящик», как мы иногда называем телевизор, всего-навсего схема, набор электронных элементов и технических деталей, помещенных в оформленный дизайнером корпус. Жизнь и разум компьютеру дает введенная в него программа, и он способен делать только то, что программой предписано. И хотя программа – это лишь перфолента, магнитная кассета, диск или другой носитель информации, стоит программное обеспечение порой в несколько раз дороже самого компьютера.

Подготовка задачи для решения на компьютере состоит из ряда этапов. Прежде всего необходимо четко уяснить ее существо, а значит, понять, чего мы хотим, какими данными располагаем и как собираемся использовать полученное компьютером решение, чтобы достичь желаемого результата. Затем поведение интересующего нас объекта или исследуемой ситуации надо описать математическими и логическими формулами, говоря иначе, сконструировать их математическую модель. В последующих разделах книги мы познакомим читателя со многими математическими моделями, которые используются для анализа и планирования процессов, связанных с сельскохозяйственным производством. После того как разработана математическая модель, нужно определить четкий порядок ее исследования, то есть способ решения образующих ее уравнений. Система четких правил, определяющих процесс выполнения заданной работы, называется *алгоритмом*.

Компьютер, повторим, всего лишь машина, поэтому порядок его действия должен быть предопределен, тщательно, пунктуально, шаг за

шагом разработан. Программа и есть подробная инструкция для компьютера, переведенная на понятный ему язык и неукоснительно им соблюдаемая. Она состоит из команд. В команде указываются адреса ячеек памяти, откуда следует взять числа, вид операции, которая над ними должна быть произведена, и адрес ячейки памяти, куда следует поместить результат. Помимо команд, предписывающих арифметические действия над числами, есть и команды подлежащих исполнению логических операций.

Перед началом работы программа вводится в память компьютера, а уже из нее процессор автоматически выбирает одну команду за другой, реализует указанные в них действия и таким образом последовательно выполняет всю предписанную ему работу.

Различают прикладные программы для решения конкретных научных и управленческих задач и системные. Комплексы системных программ являются неотъемлемой частью ЭВМ. Они организуют вычислительный процесс и управляют им, регулируют использование различных устройств компьютера, например, обеспечивают возможность одновременного решения сразу нескольких задач, что обеспечивает повышение его производительности. Сюда входят также диагностические программы, которые помогают обнаруживать в компьютере неисправности.

Разумеется, программа должна быть понята и принята компьютером, а значит, представлена на специальном, символическом – машинном языке. Таких языков создано множество: назовем лишь алгол, фортран, паскаль, бейсик, ассемблер. Каждый из них отличается определен-



ными особенностями, предназначен для решения тех или иных задач. Но и здесь нужна своя *программа-транслятор*, чтобы автоматически перевести информацию на внутренний машинный язык компьютера.

Вообще же эксплуатация современных ЭВМ невозможна без оснащения их комплектом специальных служебных программ, которые организуют весь процесс прохождения задачи и управляют работой всех устройств ЭВМ. В их состав, помимо программы-транслятора, входят *программа-диспетчер*, регулирующая поток проходящих через компьютер задач и распределяющая между ними устройства ввода-вывода, *программа-супервизор*, отвечающая за размещение массивов информации в памяти компьютера, и другие. Комплекс служебных программ называется **операционной системой**, от его полноты существенно зависят эффективность действия компьютера и удобство пользования им.

Компьютерные программы чрезвычайно разнообразны, но среди них для решения многих типовых задач существует и целый ряд типовых, *стандартных*, программ. Во всем мире ими ведется широкая торговля. В США, например, разработкой компьютерных программ занимаются тысячи компаний, оборот которых достигает десятков миллиардов долларов. У нас в стране действует всесоюзный фонд стандартных алгоритмов и программ, кроме того, в каждой отрасли, в том числе и в сельскохозяйственной, имеются соответствующие аналогичные центры программного обеспечения.

СМЕНА КОМПЬЮТЕРНЫХ ПОКОЛЕНИЙ

Этот интереснейший и чрезвычайно интенсивный процесс происходит прямо на наших глазах. Появляются все новые и новые ЭВМ, еще более «умные», разносторонние, быстродействующие, надежные, дешевые, компактные, чем прежние. Вполне резонно предположить, что даже за время выхода в свет нашей книги поступят сообщения о создании ЭВМ, у которых к каждой из перечисленных характеристик будет добавлена многозначительная приставка «супер».

Компьютеры – и детище, и действенный инструмент, и мощный стимулятор научно-технической революции. Они подстегивают, активизируют прогресс, и сами первыми же используют его достижения. Можно сказать, что они являются сразу и кнутом, и лошадью научно-технического прогресса.

Основные этапы развития вычислительной

техники принято называть поколениями. Сейчас наступило время четвертого поколения компьютеров, ему на смену в научных лабораториях и конструкторских бюро готовится пятое.

Первая ЭВМ, названная ЭНИАК, была построена в США в 1946 году. Она занимала площадь 170 квадратных метров, весила 10 тонн, потребляла 150 киловатт-час энергии, имела 18 тысяч электронных ламп, полторы тысячи реле и огромное множество конденсаторов, резисторов и других схемных элементов. А вот надежность ее оказалась очень низкой — машина ломалась каждые 15–20 минут. Четырьмя годами позже в институте электротехники АН УССР под руководством академика С. А. Лебедева была создана первая отечественная ЭВМ. То, что могли делать эти гиганты, размещаемые в огромных залах, теперь выполняет микрокомпьютер, который превосходит их в быстродействии, надежности и даже в объеме памяти, уместаясь в портфеле и потребляя от батареек сотые доли ватта.

Машины первого поколения сейчас вызывают у молодых специалистов снисходительную улыбку, но следует сказать, что они уже тогда привлекли всеобщее внимание и громко заявили о наступлении новой эры в технике.

Тут, пожалуй, уместно одно впечатление, как говорится, личного порядка. Моя первая встреча с ЭВМ произошла тридцать с небольшим лет тому назад, с тех пор у меня на глазах сменялось одно их поколение за другим, но и по сей день не остыли в душе восторг и удивление, которые я испытал тогда от соприкосновения с чудом.

До этого я работал главным инженером МТС в глухой псковской деревушке. Заботы и трудности сельского специалиста известны, а для инженера самая тяжкая из них – частые поломки машин в поле. Горестное зрелище – видеть бессильно замерший трактор посреди недосеянного поля. И основным виновником поломок была ненадежная работа топливной аппаратуры тракторных дизелей.

Мои старания разобраться в этом вопросе привели меня к системе седьмого порядка нелинейных дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом, которые детально описывали сложные и тонкие процессы, протекающие в топливной аппаратуре. Здесь не место вдаваться в подробности, скажу только: одна лишь запись этих уравнений заняла целую страницу в книге, где я потом изложил результаты своих исследований.

Я жил с семьей в ветхой избушке, электричества не было, а для научной работы мне оставалась только ночь. Поэтому и сейчас, когда мне случается увидеть те уравнения, я сразу вспоминаю уханье промерзших бревенчатых стен, красный огонек фитиля и даже ощущаю едкую копоть от лампы, заправленной тракторным керосином.

Поступив в аспирантуру, я вооружился арифмометром и восемь месяцев, не переставая, крутил его рукоятку, пытаясь произвести пробный расчет, прежде чем предложить свои уравнения конструкторам топливной аппаратуры. Но довести до конца вычисления так и не удалось. Я начал уже подумывать о другой теме для диссертации, разумно полагая, что если уж самому автору не по силам изобретенный им

метод расчета, то вряд ли им будут пользоваться другие. Но тут я по радио или из газет узнал о существовании ЭВМ. В стране тогда их было не больше десятка, и из моих знакомых никто даже не слышал об этом чуде XX века.

Отчаянность положения и аспирантская настырность вскоре привели меня к пульта одной из первых советских ЭВМ с поэтическим названием «Стрела».

Я вошел в большой зал, вдоль стен которого стояли матовые шкафы с сотнями мерцающих индикаторных лампочек. От панелей исходили какая-то особая серьезность и значительность. Воздух в зале был насыщен озоном, слышались приглушенные шорохи вентиляторов, работающих в соседних помещениях, время от времени неожиданно начинал стучать перфоратор. К пульта, усыпанному кнопками, тумблерами, шкалами контрольных приборов и сигнальных ламп, вела новая, еще не обтопанная ковровая дорожка.

Я уже был наслышан о высоком быстродействии машины, поэтому, вставив в нее программу и нажав кнопку пуска, подумал, что все-таки успею на скорую руку перекурить, пока ее электронные мозги будут трудиться над моими уравнениями. Но я даже не успел достать сигарету, как загудел выходной перфоратор и в накопительный карман посыпались перфокарты с решением задачи. За считанные секунды машина разделалась с моими уравнениями, которые я в течение восьми месяцев безрезультатно пытался одолеть. Я был буквально ошеломлен и еще долго не мог прийти в себя.

Да и в дальнейшем ЭВМ продолжали удивлять даже людей, сведущих в этой области, не

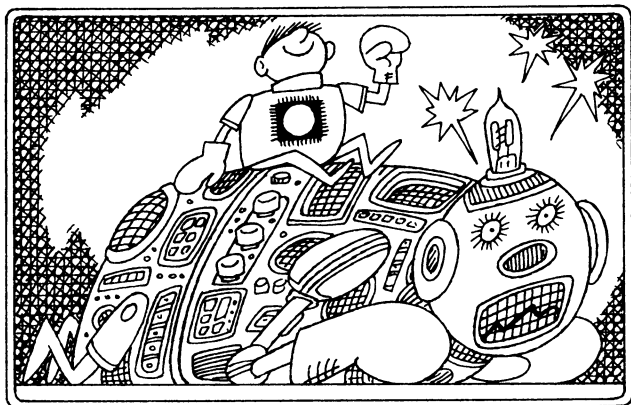
говоря уже о все расширяющемся круге пользователей. Особенно очевидные успехи были достигнуты на пути миниатюризации вычислительной техники. Ведь лет через десять после появления первых ЭВМ громоздкие и потребляющие много энергии электронные лампы стали заменять полупроводниковыми элементами-диодами и триодами. Компьютеры значительно уменьшились в размерах, стали более надежными и дешевыми. Вспомнив, что примерно в то же время на прилавках магазинов появились транзисторные приемники, мы можем нагляднее представить себе, в чем состояла смена поколений электронной техники, сравнив современный миниатюрный приемник с его крупногабаритным ламповым предшественником.

ЭВМ первого поколения были ориентированы на решение сложных научно-технических задач, и их устанавливали в крупных институтах. Кстати, на той машине, с помощью которой я решал свои уравнения, рассчитывали траектории первых советских спутников и космических кораблей. Тогда об их запусках заранее не сообщали, но мы, кто имел доступ к машине, догадывались об этом заранее, потому что за некоторое время до запуска нам закрывали вход в машинный зал. И если те ЭВМ строились штучно, то производство машин второго поколения было поставлено на поток, их стали выпускать сотнями и шире использовать для нужд народного хозяйства.

Но подлинная революция в компьютеризации связана с появлением и развитием микроэлектроники, которая привела к появлению ЭВМ третьего и четвертого поколений.

Любая ЭВМ состоит из огромного числа электронных элементов – диодов, триодов, конденсаторов, резисторов и т. д. Их монтаж трудоемок и сложен, и устройство в целом получается не очень надежным. Физики и инженеры направили свои усилия на разработку технологических процессов, которые позволили более компактно разместить электронные элементы на одной микросхеме. Использование лазерной техники, тонких пленок, методов осаждения на кристалле в вакууме тонких слоев металла и других научных достижений позволили смонтировать на одном небольшом кристалле кремния или германия десятки и сотни тысяч элементов и монтажных соединений между ними. Элементы микросхем так малы, что их трудно увидеть даже под сильным обычным микроскопом, так что монтаж ведут, пользуясь рентгеновскими лучами. Мельчайшая пылинка, попав на микросхему во время ее изготовления, может вызвать короткое замыкание и превратить ее в брак. В цехах, где изготавливают микросхемы, приходится соблюдать значительно большую чистоту, чем это необходимо даже в операционной.

А в результате всех этих усилий на тонкой кристаллической пластинке размером с монету размещаются десятки и сотни тысяч элементов, связанных между собой таким образом, чтобы выполнять в компьютере необходимую работу. После тщательной проверки и испытания схема заключается в герметизированный корпус, снабженный необходимым количеством выводов для соединения с другими микросхемами. Из таких микросхем, которые называют *большими интегральными схемами*, и строятся современные компьютеры.



Прогресс микроэлектроники, организация на ее основе крупносерийного производства компьютеров привели к массовому их внедрению в самые различные сферы человеческой деятельности, вплоть до использования в бытовых приборах.

Вообще говоря, развитие вычислительной техники сейчас идет по двум направлениям. Во-первых, создаются универсальные машины большой производительности, которые располагаются в крупных вычислительных центрах, у клиентов, которые обслуживаются этими центрами (они могут находиться на большом расстоянии друг от друга), устанавливаются дисплеи и прочие терминальные устройства. Обмен информацией между дисплеем и ЭВМ осуществляется по телефонным или телеграфным линиям, а иногда и по каналам спутниковой связи.

В свое время на известной американской

выставке в Москве на ВДНХ СССР был установлен дисплей, который через спутниковую связь был соединен с ЭВМ, находящейся в Сан-Франциско. Я воспользовался этой машиной и решил с ее помощью несколько интересовавших меня задач. Ощущение было такое, что компьютер находится не за тысячи километров, а стоит за стеной в этом же помещении — машина выдавала ответы без малейшей задержки.

Создание вычислительных центров коллективного пользования — перспективный путь расширения сферы применения ЭВМ. Мелким организациям и предприятиям, индивидуальным клиентам нет необходимости обзаводиться дорогостоящей вычислительной техникой, а достаточно установить у себя дисплей, электрическую пишущую машинку или еще какое-либо устройство для ввода и вывода информации, присоединиться к ЭВМ вычислительного центра, и они смогут в полной мере воспользоваться плодами научно-технического прогресса.

Второй путь развития вычислительной техники — децентрализация, приближение компьютеров к источникам информации и потребителям, создание массовых, дешевых персональных ЭВМ, а также специализированных машин для решения узких конкретных задач.

Следует сказать и еще об одной особенности современных компьютеров. ЭВМ первого поколения имели жесткую структуру, не допускающую изменения их характеристик. На практике это создавало большие неудобства. Машина оказалась чем-то незыблемым, неспособной поспевать за колебаниями конъюнктуры. А вот машины третьего и четвертого поколений име-

ют гибкую модульную структуру (вроде детского «конструктора»), позволяющую легко их приспособлять к различным потребностям. К компьютеру присоединяют дополнительное оборудование, повышающее его универсальность, несколько компьютеров объединяют в одну систему большой производительности и т. д., словом, как говорится, возможны варианты.

В нашей стране, как и во всем мире, происходит активный процесс совершенствования вычислительной техники на основе широкого использования достижений микроэлектроники. Стремительное расширение применения компьютеров в науке, на производстве, в проектном деле, в экономике, в быту стимулировало не только количественный рост их выпуска, но и увеличение разнообразия их типов.

Страны-члены СЭВ, объединив свой научно-технический потенциал, разработали и совместно производят единую систему ЭВМ (ЕС ЭВМ), построенных на общей элементной и конструктивной основе при высоком уровне стандартизации и унификации оборудования. Это семейство компьютеров включает в себя более двадцати типов и модификаций машин с быстродействием от 5 тысяч до 1,5 миллиона операций в секунду, с емкостью оперативной памяти от 8 до 8192 килобайт и с занимаемой площадью от 10 до 180 квадратных метров.

Большой диапазон производительности и широкий набор внешних унифицированных устройств дают возможность выбрать из этого семейства машину, которая сможет удовлетворить почти любые потребности практики. Компьютеры программно совместимы, то есть

программа, составленная для одной ЭВМ, может быть использована в другой из этого семейства. Машины ЕС ЭВМ позволяют широко манипулировать набором периферийных устройств, приспособлявая каждую ЭВМ к конкретным нуждам потребителя. Имеется возможность создания многомашинных комплексов, в которых ЭВМ, удаленные друг от друга на значительное расстояние, оперативно обмениваются информацией и совместно решают задачи. Объединение нескольких ЭВМ в один комплекс позволяет существенно повысить их производительность, надежность работы, увеличить число обслуживаемых абонентов, организовать информационные фонды группового и общего пользования.

Мы, конечно, не будем здесь рассказывать о всех машинах Единой серии — их очень много, упомянем лишь о трех, чтобы дать читателю представление о диапазоне возможностей, которые дает это семейство ЭВМ.

Младшей моделью ЕС ЭВМ, которая относится к классу миниЭВМ, является ЭВМ ЕС-1010. Ее быстродействие 7 тысяч операций в секунду, емкость оперативной памяти до 64 килобайт, занимаемая площадь 10 квадратных метров. Эта машина предназначена в первую очередь для научно-технических расчетов не слишком большого объема и сложности, однако может также использоваться при управлении технологическими процессами.

Представителем универсальных машин средней производительности может служить ЭВМ ЕС-1036. Скорость работы 400 тысяч операций в секунду, объем оперативной памяти до 4096 килобайт, занимаемая площадь 20 квадратных

метров. Эта машина предназначена для решения широкого класса научных, экономических и информационно-логических задач. Ее также используют в АСУ и для обработки больших массивов информации, связанной с административной деятельностью.

Одна из самых быстродействующих советских ЭВМ – ЕС-1061. Скорость ее работы превышает 1,5 миллиона операций в секунду, емкость оперативной памяти 2–8 мегабайт, занимаемая площадь 180 квадратных метров. Эта машина для крупных вычислительных центров, ее применяют и в системах, где обрабатываются особенно большие массивы информации.

Технические средства ЕС ЭВМ постоянно совершенствуются, чтобы полнее удовлетворять постоянно растущие требования науки, техники, народного хозяйства. Из года в год повышается быстродействие машин, увеличивается объем их оперативной и внешней памяти, расширяется набор периферийных устройств, облегчающих общение человека с машиной и делающих их более удобными для использования. Развиваются системы программного обеспечения, дающие возможность применения ЭВМ для решения все новых и новых задач.

Наряду с компьютерами Единой серии страны – члены СЭВ разработали и производят систему малых машин (СМ), которые обычно называют миниЭВМ. Они сравнительно дешевы, компактны, но их вычислительные возможности также меньше. Эти компьютеры строятся по модульному принципу, позволяющему свободно варьировать комплект периферийных устройств, гибко приспособлявая структуру машины к конкретным нуждам.

Сфера применения миниЭВМ исключительно широка. Они используются для автоматизации научных исследований и проектирования, ими оснащаются станки с программным управлением, системы управления технологическими процессами, хранилища, склады, магазины. МиниЭВМ нашли широкое использование на объектах энергетики и металлургии, для обработки данных при исследовании природных ресурсов, начинают они распространяться и в системах оперативного управления сельскохозяйственным производством (диспетчерские службы).

В начале 70-х годов появился термин «микроЭВМ» для обозначения особо малых компьютеров, которые состоят всего из нескольких больших интегральных схем. Их используют в качестве контролеров за протеканием непрерывных технологических процессов, для управления конвейерами, автоматическими линиями, подъемно-транспортными системами и т. д., встраивают в сложные приборы и установки с целью автоматизации их работы, применяют в качестве бортовых систем диагностики и управления на движущихся объектах – локомотивах, самолетах, автомобилях, комбайнах, тракторах и т. д.

Большое распространение получают электронные бухгалтерские машины специализированных семейств. Это клавишные программно-управляемые машины для бухгалтерских и плановых расчетов и подготовки по ним готовых отпечатанных по требуемой форме многострочных и многографных документов. Они устанавливаются непосредственно на рабочем месте сотрудников различных экономических служб.

Смена поколений компьютеров, совершен-

ствование методов программирования сопровождаются расширением режимов использования вычислительной техники. Компьютеры первого поколения эксплуатировались в так называемом индивидуальном режиме, когда на период решения задачи машина полностью поступала в распоряжение того, кто был занят этим конкретным делом. В отведенное ему время ученый или инженер садился за пульт и начинал манипулировать кнопками и переключателями.

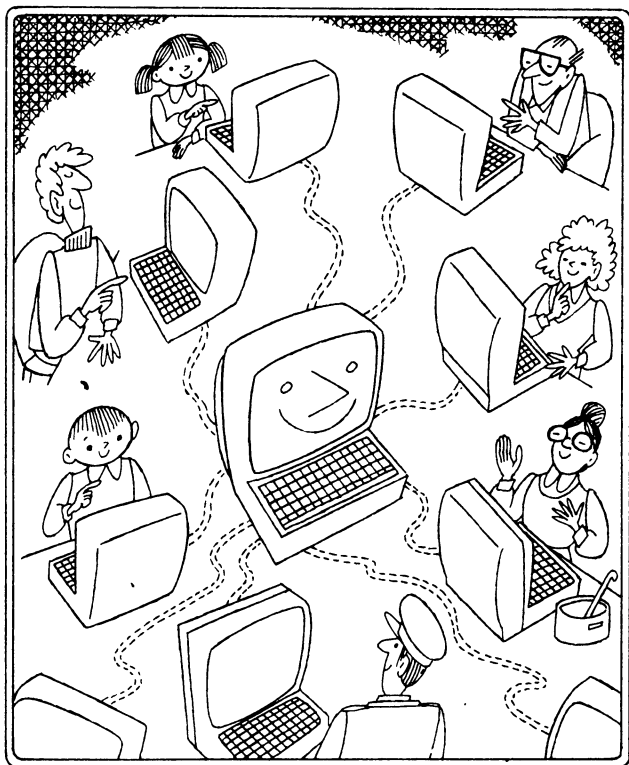
Затем начала распространяться *пакетная обработка* информации. Здесь клиенты уже не имеют непосредственного доступа к машине. Подготовленные ими задачи в виде программ и исходных данных передаются работникам вычислительного центра, которые помещают полученные материалы во внешнюю память ЭВМ, откуда они автоматически – в порядке очереди или по заданному расписанию – поступают на решение в компьютер.

Значительное повышение производительности компьютера достигается при использовании его в *мультипрограммном режиме*, когда работа машины организуется так, что она одновременно решает несколько задач, используя для одной, скажем, процессор, а для другой – простаивающее в данный момент устройство ввода или вывода.

О работе ЭВМ в *режиме разделения времени* мы уже говорили, правда, не называя его. Вычислительной системой с разделением времени принято считать компьютер коллективного пользования, оснащенный большим числом устройств ввода-вывода, установленных у клиентов, каждый из которых имеет возможность общаться с ЭВМ и решать свои задачи, пола-

гая, что машина полностью находится в его распоряжении.

Такие системы часто называют разговорными, поскольку взаимодействие человека с компьютером может осуществляться в форме беседы, в ходе которой «собеседники» поочередно посылают сообщения друг другу. Прин-



цип разделения времени основан на том, что быстродействие компьютера и скорость реакции человека несоизмеримы. Поэтому, хотя компьютер ведет одновременно «разговор» со многими собеседниками, его реакция на обращение настолько быстра, что у человека создается полная иллюзия, будто он один общается с машиной. Примером подобной системы может служить автоматизированная продажа железнодорожных или авиационных билетов.

Центральный компьютер обслуживает сразу множество клиентов, но каждый из них, находясь у терминала, уверен, что машина занимается только его проблемами.

Итак, мы пунктирно проследили смену компьютерных поколений, узнали о богатейших возможностях вычислительной техники. Ну, а как они реализуются практически? Скажем сразу: есть все основания дать материалу о применении ЭВМ именно то название, которое приведено чуть ниже.

ПОБЕДНОЕ ШЕСТВИЕ

Необыкновенные и разносторонние «способности» компьютеров, а также подкупающая простота в обращении с современными ЭВМ, делающая их доступными практически каждому человеку, даже не знакомому с тонкостями программирования, обеспечили им быстрое и чрезвычайно обширное применение. Этот процесс и получил название компьютеризации, которую в некоторых странах в связи с масштабностью рассматриваемого явления именуют даже тотальной.

Трудно хотя бы бегло перечислить области.

где компьютеры уже радикально изменили характер труда. Наука, производство, энергетика, транспорт, экономика, образование, управление, робототехника, космонавтика – все это уже, можно сказать, традиционные сферы применения вычислительной техники.

Развитие микроэлектроники открывает новые перспективы использования ЭВМ. Микрокомпьютеры встраивают в различные технические устройства, и они, становясь их составной частью, как бы мозгом и нервной системой, буквально преобразуют производство, поднимают его на качественно иной уровень.

Читатели, конечно, слышали о станках с числовым программным управлением. Режимы работы такого станка задаются сменными программами. Для того чтобы станок перестроить с изготовления одной детали на другую, достаточно в его компьютер ввести соответствующую программу. Встроенными, а вернее, бортовыми компьютерами оснащают мобильные машины, в том числе новейшие тракторы и комбайны, чтобы автоматически управлять их работой и контролировать состояние их систем. Электроника помогает снизить расход энергии, поднять производительность, уменьшить риск аварии. К этому типу компьютеров надо отнести и те, которыми оснащаются роботы.

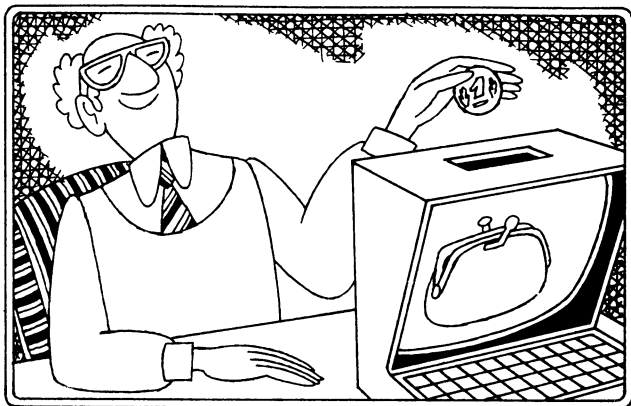
Промышленные роботы уже перестали быть редкостью в заводских цехах. Точно так же, как и гибкие автоматизированные линии, которые сейчас широко внедряются в машиностроение, электротехническую, электронную и другие обрабатывающие отрасли. Благодаря сменным программам, ускоряющим переналадку оборудования, эти линии дают особенно большой

эффект при выпуске продукции небольшими сериями, отчего их и называют гибкими. Роботы же, наделенные машинным интеллектом, позволяют создавать полностью автоматизированное производство.

О применении компьютеров в агропромышленном комплексе мы будем говорить еще не раз, поскольку этой теме в основном и посвящена наша книга. А пока скажем лишь, что они используются здесь не только в научных исследованиях, в экономических расчетах или в области управления, но и в конкретных технологических процессах обслуживающих отраслей, животноводства, тепличного хозяйства, на уборке урожая и др.

Компьютеры проникают во все сферы нашей жизни, и диапазон их распространения чрезвычайно обширен. Если идти, как говорится, «по вертикали», то это космос и океанские глубины, если же «по горизонтали», то самые передовые научно-технические области и целая индустрия электронных игр и прочих развлечений. Свершая свое победное шествие, ЭВМ проникают и в жилище человека в виде персональных компьютеров, приборов, встроенных в кухонные агрегаты или регулирующих микроклимат в наших квартирах. Они становятся такой же обычной принадлежностью быта, как стиральные машины, холодильники, радиоприемники, телевизоры и точно так же верой и правдой служат людям.

В развитых зарубежных странах ЭВМ прочно вошли в банковскую практику. Благодаря им даже появилось понятие «электронные деньги». Компьютеры производят все необходимые вычисления и операции, храня в своей памяти счета



клиентов. Сейчас можно проехать всю Америку из конца в конец, не имея в кармане ни цента. Правда, для этого надо открыть счет в каком-либо банке и получить так называемую кредитную карточку, которая будет заменять наличные деньги. Пообедав, например, в ресторане или приобретая билет в кассе, вы вручаете официанту или кассиру кредитную карточку, тот вставляет ее на секунду в автомат, и вот уже по единой компьютерной сети полетел сигнал о том, сколько денег нужно снять с вашего счета, куда и на какой счет их перевести. Имея кредитную карточку, можно в любое время дня и ночи получить наличные деньги в одном из десятков тысяч автоматов, установленных по всей стране.

Все бы ничего, если бы не ...«электронная преступность». Увы, злоумышленники тоже не чураются научно-технического прогресса. Появились мошенники, которые научились мани-

пулируют памятью банковских компьютеров. Не выходя из дома, путем нажатия нужных кнопок на персональном компьютере, они по линиям связи проникают в память ЭВМ, установленных в банках, и перегоняют деньги вкладчиков на свой собственный счет. Число подобных преступлений постоянно растет, методы их становятся все изощреннее, так что теперь вместо былых воров-«медвежатников» появились грабители, вооруженные незримыми электронными отмычками.

А столь пугающий всех так называемый компьютерный вирус? Эта нелегально внедренная в машинную память микропрограмма способна серьезно расстроить работу целой компьютерной сети.

Правда, органы охраны порядка тоже не чужды научно-техническим новшествам. В электронных досье хранится исчерпывающая информация о преступниках, которая может быть мгновенно извлечена. Вообще же в криминалистике широко используется компьютерная техника.

Электронный век не обошел стороной даже цитадель католической церкви. Многие ведомства Ватикана уже давно пользуются услугами ЭВМ. Горьким парадоксом выглядит тот факт, что компьютеры находятся именно там, где когда-то святейшая инквизиция допрашивала Галелео Галилея и Джордано Бруно. Видеотерминалы располагаются на столах монсеньеров, занятых анализом новых доктрин, ученых богословов, в богатейшей здешней библиотеке. По сообщениям газет, в кабинете папы римского также установлен персональный компьютер, который позволяет в любой момент получать

информацию о положении дел в подведомственной ему церкви.

Наука, техника, производство, быт, земные заботы церкви, а еще военное дело – сфера, которую мы обошли многозначительным молчанием, – как велик и пестр спектр применения ЭВМ в современном мире! Недаром чуть ли не сразу после их появления среди технократов и философов завязались жаркие дискуссии на тему: может ли машина мыслить и не станет ли она когда-нибудь умнее своих творцов? Эти споры не затихли и до сих пор, хотя ныне стало более модным рассуждать о возможностях создания «искусственного интеллекта». Масла в огонь подливают и писатели-фантасты, повествуя о вышедших из повиновения роботах.

Создание и бурное развитие вычислительной техники породили своеобразный компьютерный романтизм. «Не пройдет и десяти лет, – писал в 1957 году американский ученый Г. Саймон, – как ЭВМ станет чемпионом мира по шахматам, если не будут введены правила, не допускающие ее к соревнованиям. Не пройдет и десяти лет, как ЭВМ найдет и докажет важную и до сих пор неизвестную математическую теорему. Не пройдет и десяти лет, как большинство психологических теорий примет форму программ для ЭВМ». Со времени этих предсказаний прошло свыше тридцати лет, но ни одно из них не сбылось. Более того, совсем недавно чемпион мира Гарри Каспаров в пух и прах обыграл лучший шахматный компьютер США, а вслед за ним ту же машину победил Анатолий Карпов. Вроде бы спор решен однозначно. Между тем признано, что ЭВМ играет сейчас в силу среднего шахматиста и может быть ему отличным

спарринг-партнером. И не только: уникальная машина победила таких известных спортсменов, как Б. Ларсен и Р. Бирн. Ее рейтинг оценен гроссмейстерским баллом. Не зря же многократный чемпион мира Михаил Ботвинник разрабатывал шахматные программы для компьютера. Машины постоянно совершенствуются, и, видимо, главный спор между ними и человеком еще впереди.

Это лишь частные примеры, а вообще, дело далеко не так просто, как может показаться на первый взгляд. Уже сегодня компьютеры по многим видам деятельности, которые всегда относили к интеллектуальной, умственной сфере, выигрывают соревнование с человеком. Никому из нас не угнаться за компьютером в счете. А машинная память, способная вместить, навечно сохранить и, когда нужно, без малейших искажений мгновенно выдать громадный объем самой разнородной информации? А возможности ЭВМ в анализе и сопоставлении большого числа альтернативных вариантов? А поистине железная логика? А успешно выполняемые функции управления? Нет, похоже, все это следовало бы считать прерогативами интеллекта.

Верно, но с существенной оговоркой – до сравнительно недавнего времени. Теперь же работу, считавшуюся прежде сугубо умственной, доступной лишь человеку, берет на себя машинный «разум». И работа эта, хотя вроде бы и «умственной категории», однако, заметим, механическая, рутинная и только потому доступная машине.

Ну ладно, наука, техника, где все в основном доказательно, определено. А искусство? Но ведь известно, что ЭВМ переводят с языка на

язык, пишут стихи, прозу, музыку. Известно и другое: они делают это (и, поверьте, всегда будут делать) средне. Пусть все лучше и лучше, но все равно — в диапазоне некоей «средности».

В память компьютера легко ввести все стихи А. С. Пушкина; машина будет их помнить до единого и сможет продекламировать каждое, с любой строки, подряд и вразбивку, как угодно. ЭВМ скрупулезно подсчитает, сколько раз поэт использовал то или иное слово, выявит его излюбленные рифмы, стихотворные размеры и т. д. На все вопросы компьютер даст уверенный, однозначный ответ, но будет ли это свидетельствовать о понимании им поэзии? Образность, метафоричность, настроение, художественно выраженная мысль неизбежно останутся за пределами машинных возможностей. И впрямь, сможет ли компьютер оценить прелесть стиха:



На холмах Грузии лежит ночная мгла;
Шумит Арагва предо мною.
Мне грустно и легко; печаль моя светла;
Печаль моя полна тобою.

Это красота – великая тайна, не разгаданная, не познанная даже человеком. Что же говорить тогда о машине! Она лишена творческого дара, того, что называют душой, духовностью, вдохновением. Ей неведомы сомнения, смятение, воля, любовь и ненависть, словом, человеческие чувства, эмоции, характер, составляющие сердцевину любого творчества. Больше, на что она способна, – действовать по программе, по правилам, которые диктует ей человек. И если признать у нее наличие какого-то «интеллекта», то это интеллект машинный, искусственный, а значит, лишь имитация, подделка, эрзац истинного, живого, и уже этим одним все сказано.

Машина – она и есть машина. Не меньше, но и не больше. Даже такая «умная», как компьютер...

Глава 3 УПРАВЛЕНИЕ

*На государственные должности
нужно ставить не тех, кто их
домогаются, а тех, кто их из-
бегают.*

**Александр Север,
римский император**

*Начальникам, конечно, нужно под-
чиняться, но подчиняться не
больше, чем нужно.*

Э. Кант

БРЕМЯ ВЛАСТИ

Управление – волнующая, сложная и очень важная область человеческой деятельности. И, заметим, очень древняя, накопившая огромный, противоречивый опыт применения полярных методов и средств. А потому, наверное, способная вдохновить и самого восторженного поэта, и самого трезвомыслящего аналитика, и самого едкого сатирика. Здесь порой соседствуют бескорыстное стремление осчастливить сограждан и низменные домогательства власти, самопожертвование и отъявленный цинизм. По теперешним временам это – головокружительные взлеты по служебной лестнице и неожиданные падения с нее. Это – персональный автомобиль, мягкое кресло в уютном кабинете... и огромный риск инфаркта. Это – большие права

и не меньшие обязанности, воля и повиновение, надежды и разочарования, успех и неудачи, мгновенное творческое озарение и долгий скрупулезный расчет.

Обо всем этом можно было бы написать поэму или роман, фельетон или психологическое эссе. Что же касается нашей книжки, то у нее задача скромная – рассказать об управлении как о рядовой, будничной и совершенно необходимой обществу работе, связанной со сбором, обработкой и использованием информации. А если вспомнить о словах с противоположным значением – антонимах (холодно – жарко, любовь – ненависть, начало – конец), то применительно к нашей теме такими неразлучными параметрами будут хаос и порядок, стихийность и управление.

Принимаясь за любое серьезное дело, не следует полагаться на то, что оно совершится само собой, стихийно. Всегда приходится затрачивать определенные усилия на управление действиями и событиями, ведущими к поставленной цели. Управлять – значит решать какую-то задачу. Управляя, мы принуждаем обстоятельства развиваться в нужном, заранее установленном направлении. Успех в столь непростом деле требует ясного понимания цели, сознательного выбора средств, ведущих к ее достижению, последовательной реализации поставленной задачи.

Это хаос возникает сам собой. Для того чтобы, например, парализовать работу железной дороги, не нужно никаких усилий, достаточно только, скажем, забросить диспетчерскую службу. То же самое и с воздушным транспортом. А бездеятельный директор совхоза или

председатель колхоза, не шевельнув даже пальцем, может за один год разрушить процветающее хозяйство. Зато вот порядок везде дается нелегко. Так что управление – это прежде всего работа, требующая знаний, профессионализма, значительного умственного и нервного напряжения. А в наше время – при огромных масштабах производства, больших скоростях процессов, высокой энерговооруженности работников и углубленной их специализации – для успешного управления необходима еще помощь науки и электронной техники. Проникновение научных методов в эту сферу, автоматизация управленческого труда являются характерными чертами нынешней научно-технической революции (НТР). Освобождая работников управленческого аппарата от монотонных трудоемких операций, современная техника позволяет им больше заниматься интеллектуальными творческими вопросами.

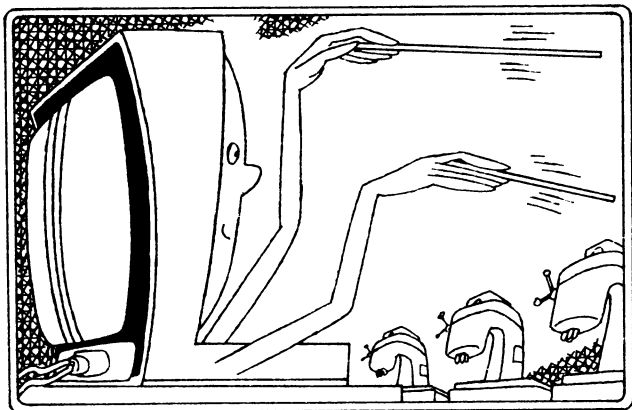
Системы управления решают четыре основных типа задач: стабилизацию объекта управления, выполнение заданной программы, слежение за процессом и его оптимизацию.

Стабилизация объекта состоит в том, что значение некоторых его параметров поддерживается на постоянном уровне вне зависимости от внешних возмущающих воздействий (разумеется, в определенных пределах). Так, естественный механизм терморегуляции сохраняет температуру нашего тела неизменной, хотя температура окружающей среды может меняться в довольно широком диапазоне. Подобную же стабилизирующую роль играют системы управления микроклиматом в теплицах, животноводческих помещениях, хранилищах.

Многие технологические процессы должны протекать в соответствии с заданной программой. Смену режимов в них обеспечивает специальное *программное устройство* управления – теперь обычно микропроцессор. Заметим, что сейчас даже бытовая техника (стиральные машины, кухонные комбайны и т. п.) оснащаются микропроцессорами.

Следящая система управляет объектом, согласуясь с определенными характеристиками какого-либо другого заданного объекта. Ну, скажем, положение корпусов плуга или сошников сеялки меняется в соответствии с изменением рельефа поля.

И наконец, *система оптимального управления* обеспечивает наилучшее (из множества вариантов) выполнение работы в сложившихся условиях. Критерии оптимизации могут быть различными, но очень часто в их качестве выступают экономические показатели.



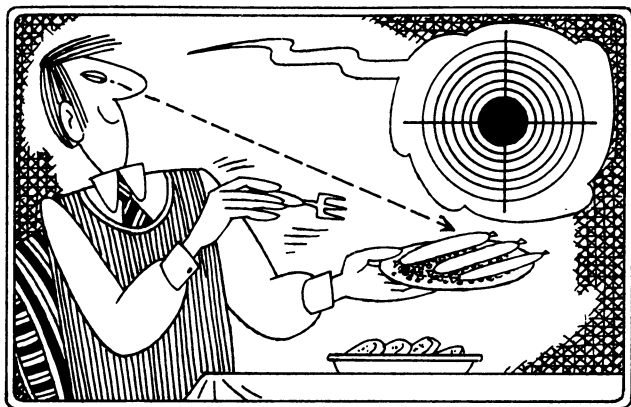
О какой бы из систем ни шла речь, очень важно, чтобы она в каждый момент располагала точными сведениями о поведении управляемого объекта, об отклонении его характеристик от заданных значений. Только тогда система способна своевременно воздействовать на него в нужном направлении и с достаточной интенсивностью. Такую информацию система управления получает по каналу обратной связи, о которой мы поговорим чуть позже.

Рассказывая о компьютерах и управлении, мы еще не упомянули о тесно связанной с ними науке – *кибернетике*. А ведь само это слово происходит от греческого «кормчий», «рулевой», то есть управляющий кораблем. Да и родоначальник кибернетики американский математик Норберт Винер определил ее как науку об управлении и связи в живых организмах и машинах. Она возникла как чрезвычайно широкое научно-техническое направление на стыке многих отраслей знания и занялась изучением систем любой природы, способных воспринимать, хранить и перерабатывать информацию и использовать ее для управления и регулирования. Кибернетика внесла большой вклад в наши представления о мире и в методологию научного познания. До нее не было четкого понятия о существовании общих закономерностей в процессах управления и обмена информацией, когда дело касается весьма разнородных объектов – живой и неживой природы, технических устройств, общества. Ее положения широко используются в теории следящих систем, оптимального управления, самонастраивающихся систем.

Кибернетика как наука не имеет четких гра-

ниц — это прежде всего комплекс новых идей и методов. Благодаря ей чрезвычайно плодотворным стало осознание важности *обратных связей* для управления в любой области. Всякая отданная команда или распоряжение должны иметь обратную связь, то есть уведомление, что сигнал принят и понят, что команда исполнена. По линии обратной связи в системы управления идут также сигналы о поведении системы, о тех нарушениях, на которые устройство управления должно реагировать. Необходимо попутно отметить, что обратная связь может быть положительной и отрицательной.

При положительной обратной связи устройство управления, обнаружив в управляемой системе отклонение от заданного режима, посылает сигнал одинакового с входным знака, а значит, действует так, чтобы это отклонение увеличить. Это нередко приводит к лавинообразным процессам, которые могут закончиться поломкой механизма, аварией машины, хотя в некоторых системах такая обратная связь используется намеренно. Приведем три примера, поясняющих действие положительной обратной связи. Первый, быть может, не слишком строгий — из сугубо житейской сферы. Когда человек много ест, он обычно полнеет, но чем больше он полнеет и привыкает к неумеренности в еде, тем больше ему хочется есть, и он продолжает набирать вес. В его организме как бы формируется положительная обратная связь, и требуется немалая сила воли, чтобы ее разорвать. Второй пример из социально-экономической области. Людей очень трудно удерживать в отсталом хозяйстве, но чем больше их уезжает, чем меньше в хозяйстве остается трудо-



способных, тем быстрее оно катится вниз, а с ухудшением его положения возрастает отток рабочей силы. Третий пример из техники. Если двигатель внутреннего сгорания работает без нагрузки и в это время у него выйдет из строя регулятор, то он может пойти, как говорят, вразнос. Он начнет лавинообразно набирать обороты, поскольку чем быстрее будет вращаться коленчатый вал, тем больше будет поступать топлива в цилиндры и лучше будут условия его горения, а значит, тем выше частота вращения. Если двигатель сразу не остановить, то через несколько секунд его буквально разорвет на части.

Отрицательная обратная связь передает сигнал противоположного входному знака, и тогда устройство управления действует так, чтобы устранить в системе отклонение от заданного режима. Например, подобным образом работает исправный всережимный регуля-

тор тракторного дизеля. При снижении нагрузки и увеличении частоты вращения коленчатого вала регулятор автоматически уменьшает подачу топлива в цилиндры, и напротив, с ростом нагрузки и замедлением вращения коленчатого вала регулятор повышает подачу топлива. По принципу отрицательной обратной связи в общем случае должны функционировать и органы управления в экономике, каждый раз принимая меры к устранению возникших нежелательных отклонений. Справедливости ради необходимо отметить, что и при отрицательной обратной связи возможны неустойчивые, колебательные режимы, «рысканье» системы. Это может быть связано с так называемым перерегулированием, когда реакция управляющего органа на отклонение чрезмерна, а также если управляющие воздействия запаздывают.

Итак, под управлением понимают целенаправленное воздействие на какую-либо систему для приведения ее в заданное состояние. Это полностью относится и к управлению производством, где надлежит обеспечить максимальную продуктивность всех вовлеченных в производственный процесс ресурсов.

В целом процедура управления включает в себя несколько этапов. *Во-первых*, сбор информации, необходимой для выработки решения. Всесторонний учет всех определяющих факторов и обстоятельств конкретной ситуации – необходимое условие рационального решения. *Второй этап* продолжает тщательную обработку и анализ полученной информации и принятие на ее основе решения. В центре этого этапа находятся операции по выявлению всех возможных решений для данной ситуации, оценка по-

следствий каждого возможного решения, их сравнение и выбор одного из вариантов, который лучше и быстрее приводит к цели. Здесь чрезвычайно важна объективность, а особенно вредят делу предвзятость, догматизм, некомпетентность, не говоря уже о недобросовестности тех, кому доверены исследования проблемы и руководство. Широкое же использование компьютеров именно на этом этапе позволяет быстро рассмотреть последствия большого числа возможных вариантов решения и выбрать среди них наилучший. *На третьем этапе* принятое решение доводится до исполнителей и организуется контроль за его выполнением. В ходе контроля (обратная связь) может выявиться необходимость уточнения или изменения ранее принятого решения. Цикл процесса управления как бы повторяется. Наличие в системе подобной обратной связи обеспечивает устойчивость производственного процесса и его протекание в оптимальном режиме.

Даже столь краткая характеристика управления наводит на мысль, что здесь многое напоминает процесс решения научной проблемы. В том и другом случае требуются тщательность и объективность, а выводы должны следовать лишь после того, как будет получена, обработана и оценена вся относящаяся к делу информация. Это позволяет использовать в управлении научные подходы и методы для решения производственных проблем.

Наука управления производством возникла сравнительно недавно и сейчас очень быстро развивается, впитывая в себя достижения многих отраслей знания. Наука всегда и во все вносит точность, определенность, ясность, по-

скольку стремится выявить причинные связи и количественные зависимости в анализируемых явлениях. Не исключение и сфера управления. Причем свойственная науке строгость – отнюдь не помеха творчеству. Напротив, только сочетание научных методов и высоких человеческих качеств способно привести к успеху в любом деле.

МОДЕЛЬ

Раз уж мы сравнили управление с наукой, то необходимо вспомнить о таком распространенном и эффективном научном методе, как моделирование.

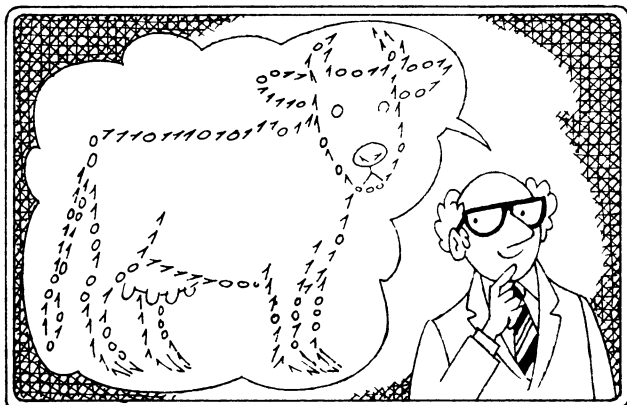
Моделью называют специально сконструированную для исследования систему, которая отражает основные свойства изучаемого объекта. Она воссоздает реальную ситуацию в искусственном, но удобном для изучения виде.

Слово «модель» происходит от латинского *modus* – копия, образец, очертание. Это, например, географические карты, схемы механизмов и электронных устройств, структурные формулы в химии и т. д. А вообще моделью можно считать любую имитирующую систему, которая замещает исследуемый объект и облегчает поиск решения научной, технической, экономической или любой другой задачи. Модель обычно упрощает, огрубляет реальный объект, освобождает его от второстепенных подробностей, которые только затемняют существо дела.

Люди издавна пользуются моделями для изучения реальных объектов и явлений. В древности, например, так имитировали будущие ирригационные сооружения. Если модель от-

личается от оригинала только размерами, а происходящие в них процессы имеют одну и ту же природу, то такое моделирование называют физическим. Уменьшенная копия самолета в аэродинамической трубе, плотины или моста в искусственном водном потоке – примеры таких моделей. Когда моделирование осуществляется с помощью процесса, имеющего другую природу, речь идет о методе аналогий. Так, течение жидкости по сложным гидротехническим сооружениям можно заменить электрическим током в специально собранной проводниковой схеме, и наоборот, поведение электрических схем иногда изучают с помощью гидравлической модели. Подобный вид исследований получил широкое распространение, а применяемые в них специальные устройства называют аналоговыми, к которым относятся и аналоговые вычислительные машины.

Но нас больше всего интересует, пожалуй, иной вид моделирования, когда совокупность математических выражений описывает поведение изучаемого объекта. Подобные модели позволяют выявить наиболее существенные взаимосвязи и зависимости между элементами в исследуемой системе, помогают уяснить различные аспекты подлежащей решению проблемы. Речь идет о точном, количественном описании самых разнообразных процессов и явлений, с которыми приходится сталкиваться во всех областях человеческой деятельности. Рассматривая на бумаге варианты решений, сравнительно легко можно выбрать из них оптимальное. Недаром говорят, что многие открытия родились на кончике пера. Впрочем, о бумаге мы здесь упомянули больше ради красного словца, по-



скольку «вручную» много вариантов не переберешь, да и некоторые сложные математические зависимости на бумаге оказываются неподатливыми. Но ведь теперь у нас есть компьютеры, а им под силу решение практически любых уравнений.

Основная ценность математических моделей состоит в том, что они позволяют создавать искусственные реальности и предсказывать последствия тех или иных действий или событий, а это очень важно, в частности, для планирования и управления производством. Прибегая к моделированию, мы ждем обоснованного ответа на вопрос: что произойдет, если мы поступим так или иначе? Ну, положим, как выбрать наилучшую структуру посевов с учетом конкретных местных условий, плановых заданий и рыночной конъюнктуры. Как самым рациональным образом распределить имеющиеся удобрения по площадям и культурам. Или: какой выход жи-

вотноводческой продукции следует ожидать при разных рационах, составленных из запасенных в хозяйстве кормов? Можно проигрывать разные ситуации и смотреть, что получится. Это обычные примеры из аграрной практики, а вообще модель позволяет делать все что угодно: имитировать экстремальные обстоятельства, возможные аварии и даже катастрофы.

Использование моделей в качестве заменителей изучаемых реальных явлений служит сейчас одним из главных признаков научного подхода и в познании действительности, и в практической деятельности. Характерная черта данного метода, как мы уже отмечали, заключается в том, что на определенном этапе познания мы вместо реального явления рассматриваем его идеализированную модель, которую и исследуем. Но подобная замена целесообразна лишь в том случае, если модель верно отражает свойства изучаемой действительности с интересующей нас стороны и в то же время более проста и удобна для исследования, чем имитируемый реальный объект. И как раз в связи с расширением сферы применения компьютеров сейчас особенно возросли роль и значение математических моделей для представления реальных объектов и ситуаций.

За тысячелетия своего существования математика прошла большой и сложный путь, превратившись из примитивного умения считать в обширную и разветвленную научную отрасль. Значение математики люди оценили еще в глубокой древности, поняв, что эта наука дает не только методы вычислений, но и служит универсальным ключом для проникновения в сущность изучаемых фундаментальных законов действи-

тельности. Вот что писал о значении математики для познания мира, в котором мы живем, великий ученый Галилео Галилей: «Философия написана в грандиозной книге, которая открыта всегда для всех и каждого,— я говорю о природе. Но понять ее может лишь тот, кто научился понимать ее язык и знаки, которыми она написана. Написана же она на математическом языке, а знаки ее — математические формулы».

Математика выработала свой язык — очень точный, экономный и вместе с тем универсальный, который оказался эффективным в самых разнообразных областях знания. Математическая символика делает запись информации компактной и удобной для последующей обработки. В любую сферу математика вводит понятие количества, числа — точность, ясность и доказательность. Большинство прикладных наук сейчас «говорит» на математическом языке.

Это в полной мере справедливо и применительно к теме нашей книги, поскольку речь в ней идет о совершенствовании управления техническими, сельскохозяйственными и экономическими процессами, рациональном использовании природных и производственных ресурсов. Смысл математизации любой прикладной проблемы и практической задачи состоит в том, что, когда она записана в форме математических уравнений, ее решение не вызывает принципиальных затруднений и сводится к выполнению стандартных вычислительных операций.

Мы говорим об этом, как о само собой разумеющемся. Однако всегда занимая среди наук самое почетное место, математика до недавнего времени находила ограниченное применение при решении хозяйственных задач.

Лишь с появлением компьютеров математика становится повседневным рабочим инструментом плановиков, экономистов, инженеров, агрономов, зоотехников и других специалистов, занятых в сфере материального производства. Родились и активно развиваются математические дисциплины, которые призваны помочь специалистам-практикам в их повседневной работе. Вот здесь компьютеры и показали себя универсальными и незаменимыми помощниками.

Как же это обычно происходит? Тут наблюдаются своеобразная специализация и разделение труда. Высококвалифицированные математики в институтах, используя новейшие достижения науки, разрабатывают математическую модель для решения конкретной практической задачи (например, комплектование рационального машинного парка хозяйства, планирование наилучшей структуры посевных площадей или управление оптимальным оборотом стада и т. д.). После этого они создают алгоритм моделирования и типовую программу для компьютера, с помощью которых любой специалист-практик может решить такую же задачу для своего хозяйства. Ему не надо досконально знать ни уравнений, которые образуют математическую модель, ни методов их решения. Что он должен сделать, так это вставить в компьютер программу и ввести в него необходимые данные о реальных условиях производства.

Конечно, и специалист-практик должен иметь хотя бы самые общие представления о математическом и компьютерном обеспечении тех реальных задач, которые могут встретиться в его повседневной деятельности. Как раз в этом призвана помочь сельскому специалисту наша книга.

ТРИ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

В их качестве при анализе процесса управления обычно выступают планирование, оперативное руководство и контроль. Давайте же коротко охарактеризуем каждую «ипостась».

Планирование производства – важнейшая функция управления. «Если не знаешь, к какой гавани тебе плыть, – говорили в старину, – то ни один ветер не будет попутным». Выбор цели, разработка программы ее достижения, распределение имеющихся ресурсов (а это составляет сущность планирования) всегда должны предшествовать началу действия.

Разработка плана состоит из нескольких этапов. Планирование начинается с критического анализа положения дел, достигнутых результатов и прогнозирования будущих изменений. Такой анализ позволяет выявить «узкие места» и желательные направления экономических и административных воздействий, то есть установить конкретные задачи различной степени важности и очередности и сроки их решения. Разработка правильной хозяйственной стратегии и тактики, направленных на достижение реальных целей, – главный элемент всякого планирования.

Любое производство связано с использованием определенных ресурсов – природных, технических, денежных, трудовых, которые, увы, всегда ограничены. Поэтому в задачу планирования входит точное указание средств, с помощью которых будут выполняться плановые задания. Сколько хорошо задуманных планов и начинаний потерпело крушение из-за того, что своевременно и верно не были оценены дей-

ствительные, а не вымышленные возможности их воплощения в жизнь.

Чтобы план был реальным, он должен отвечать и еще одному обязательному требованию. В экономике, как и в природе, действуют объективные законы, с которыми нельзя не считаться. Противопоставлять им волевые решения – значит заранее обрекать план на неудачу. Как раз этим и грешит справедливо критикуемая сегодня административно-командная система. Примеров тут, к сожалению, хоть отбавляй. Узковедомственный, волюнтаристский подход к решению хозяйственных проблем, забвение основных законов развития экономики приводят, скажем, к тому, что рост поголовья скота иногда не сопровождается пропорциональным увеличением кормовой базы, выпуск новых мощных тракторов не увязывается с производством для них шлейфа прицепных и навесных орудий, пополнение машинно-тракторного парка подчас опережает развитие сети ремонтных мастерских и других предприятий технического сервиса и т. д. Последствия таких диспропорций очевидны – они всегда приводят к потерям.

В зависимости от длительности периода, на который составляется план, различают текущие, среднесрочные и перспективные планы. Основная форма текущего внутрихозяйственного планирования в колхозе и совхозе – годовая *производственно-финансовый план*. В нем определяется объем производства по отраслям, намечаются организационные, технические и другие мероприятия, указываются источники обеспечения теми или иными средствами. К среднесрочным обычно относят *пятилетние планы*. Показатели плана здесь укрупнены. Основное внимание уде-

ляется размерам капиталовложений, определяются объекты будущего строительства, мероприятия, связанные с развитием технической базы и т.п. *Долгосрочное планирование* охватывает 10–20 и более лет и носит характер прогноза.

Производство всегда связано с расходом материалов, денежных средств, труда. Эти расходы можно разделить на две категории: общественно необходимые затраты и потери. Первые служат делу, многократно окупаются пользой от производимой продукции, они оправданы и естественны, вторые же, наоборот, невосполнимы и наносят ущерб. Положим, посеянные к сроку доброкачественные семена – необходимые затраты, которые обернутся щедрым урожаем, а зерно, просыпанное комбайном, – потери на уборке; время, израсходованное на выполнение какой-либо работы, дает прибыль, а вот потраченное на ожидание запчасти или в очереди на обслуживание – это очевидный ущерб. Важнейшая задача управления как раз и заключается в устранении или, по крайней мере, в максимальном уменьшении потерь.

Любая производственная задача обычно допускает несколько способов решений. Можно, например, обслуживать технику в центральной мастерской или в бригадных пунктах, или с помощью передвижных средств. Очевидно, что эффективность каждого из вариантов будет различной, причем она будет зависеть от конкретных условий хозяйства. Поэтому важнейший этап планирования связан с выявлением возможных альтернатив решения задачи, с оценкой их эффективности и с выбором среди этих вариантов наилучшего, то есть оптимального.

Вместе с усложнением и ускорением современной жизни, о чем мы говорили в начале книги, неизмеримо возрастает ответственность человека – руководителя, специалиста, рядового работника – за принятое им решение. В его распоряжении находится немалый потенциал, и верно составленный план призван обеспечить наилучшее использование для повышения экономичности, рентабельности производства. Только при оптимальном планировании земля, техника, труд, деньги и другие ресурсы дадут наибольшую отдачу.

Мы уже рассказывали о проникновении науки в сферу управления, о важнейшем признаке этого процесса – применении математики для решения практических задач. «Сущность вещей есть число», – утверждал 2500 лет назад древнегреческий философ Пифагор, и сейчас нам приходится часто убеждаться в его правоте, наблюдая вторжение математических методов и средств в сферу повседневной деятельности людей. Строгость математических рассуждений и выкладок обеспечивает необходимую достоверность и убедительность выводам и рекомендациям. И действительно, что может быть более убедительным, чем выраженная в виде числа истина, выданная бесстрастным компьютером.

Отмечая объективность математических методов, никак нельзя забывать о таких замечательных свойствах, как универсальность. Ведь один и тот же метод, скажем, линейное и динамическое программирование или теория очередей, с которыми мы позднее познакомимся, может применяться для решения разных задач из порой весьма далеких областей хозяйственной деятельности. Более того, та же самая

компьютерная программа годится для разных ситуаций и обстоятельств.

Планирование всегда было связано с расчетами, но сейчас наука разработала довольно много очень эффективных новых математических методов, позволяющих делать это наилучшим образом, разрабатывать оптимальные планы. Однако применительно к сельскому хозяйству возникают свои сложности. Уж очень много приходится учитывать разнородных, порой случайных факторов, от которых зависит результат труда и земледельца, и животновода! А ведь при составлении плана должны быть приняты во внимание все существенные обстоятельства – иначе возможен просчет. Поэтому в нынешних хозяйственных условиях без компьютеров в планировании не обойтись.

Хотелось бы сказать вот еще о чем. Бухгалтерское дело, работа плановика или экономиста кое-кому представляются скучной материей. Все жаждут только творческой деятельности. Но именно таким и становится труд сельского специалиста с проникновением в сферу управления научных методов и электронной техники, поскольку компьютеризация избавляет от шаблонной, монотонной работы. Само общение с «умной» техникой всегда интересно, увлекательно и дарит человеку радость познания. Впрочем, это справедливо, когда речь идет не только о планировании, но и о других функциях управления.

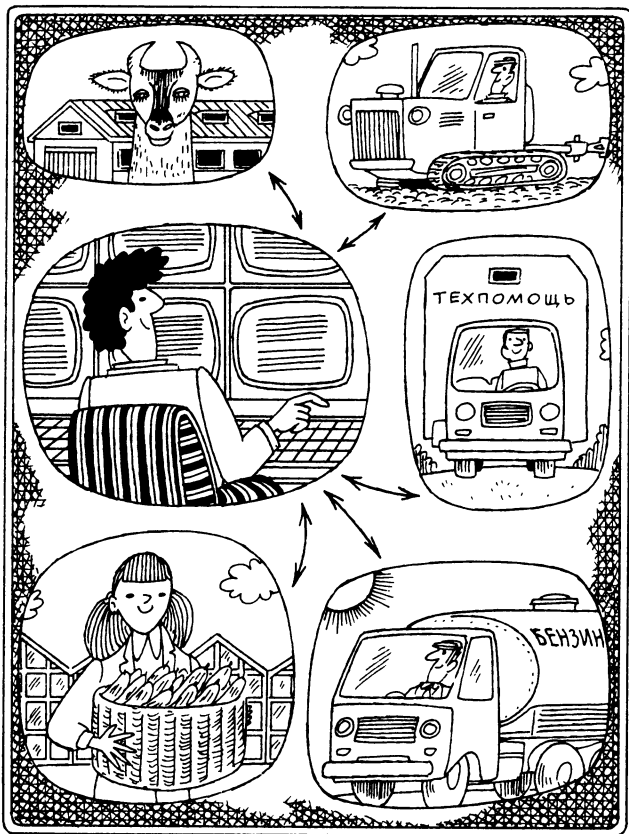
Оперативное управление. Как бы ни был хорошо составлен план, все в нем заранее и до мелочей не предусмотреть – возможны сбои, неувязки, различные затруднения при его выполнении. Жизнь есть жизнь. Что же касается

сельскохозяйственного производства, то здесь, как мы знаем, многое подвержено сильному влиянию погодных и других случайных факторов. Поэтому в аграрной сфере для выполнения планов особенно необходимы повседневная и оперативная координация всех составляющих производственного процесса, своевременное устранение возникающих неполадок и т. п.

Хорошо зарекомендовавшим себя инструментом оперативного руководства в сельском хозяйстве показала себя диспетчерская служба. Практика многих хозяйств подтверждает, что, будучи правильно организованной, она обеспечивает повышение эффективности выполнения работ, использования трудовых и материальных ресурсов, а значит, и улучшение конечных производственных результатов.

Первым шагом в создании диспетчерской службы справедливо считают организацию надежной связи руководителей хозяйства со всеми его подразделениями. Эта связь может осуществляться различными методами и средствами, но в силу специфики аграрного производства (его разбросанность по обширной территории, необходимость получать информацию от подвижных объектов и т. п.) большую роль в сельской диспетчеризации отводят радиосвязи. Радиостанции устанавливают не только на крупных стационарных объектах, но и на машинах специалистов, передвижных мастерских, полевых станах, отгонных пастбищах, что позволяет руководителям хозяйства все время быть в курсе дел и оперативно принимать меры к устранению тех или иных затруднений.

Второй шаг при организации диспетчерской службы хозяйства состоит в выделении специ-



ального работника или работников (диспетчера) для осуществления оперативного руководства производственным процессом. На этом вопросе хотелось бы задержать внимание читателя, поскольку очень часто роль диспетчера

сводят к сбору всевозможных сводок и к передаче в подразделения распоряжений руководителей хозяйства.

Прогресс человеческого общества сопровождается все более четким разделением труда, все более глубокой его специализацией. Такая специализация должна осуществляться и в управлении производством, и прежде всего из общих функций управления здесь нужно выделить функцию оперативного руководства.

Пока характер труда большинства сельских специалистов – непрерывные хлопоты, связанные с решением множества неотложных дел, суета и спешка, словом, «текучка». А между тем назначение специалиста – размышлять, анализировать, рассчитывать и, опираясь на знания, добытые наукой, искать наилучшие пути решения производственных задач. Но о каком взвешенном анализе и всесторонне обоснованных мерах можно в большинстве случаев говорить, если многие вопросы приходится решать буквально на ходу.

«Труд не суета, не ломка сил, – писал Д. И. Менделеев, – а, напротив, спокойное, любовное и размеренное делание того, что надо». Добиться того, чтобы не работа подгоняла специалиста, а он подгонял работу, можно только при хорошо организованной диспетчерской службе, которая берет на себя решение оперативных, текущих вопросов и освобождает от них всех остальных для выполнения их прямых обязанностей.

Диспетчер – не служащий, собирающий всевозможные сводки, а руководитель-специалист, способный и имеющий полномочия решать текущие вопросы, связанные с ходом производ-

ства. Эффективность выполнения диспетчерской службой своих функций оценивается двумя критериями: надежностью и оперативностью действия. Но конечно, чтобы диспетчерская служба могла по-настоящему справляться со своими задачами, она должна располагать всеми необходимыми для своей успешной работы средствами.

Функции контроля за ходом производства оказываются для диспетчерской службы основными – наряду со сбором информации о состоянии дел на всех участках хозяйства, организацией выполнения работ в полном объеме и в срок, оперативной помощью тем, кто в ней нуждается, доведением распоряжений руководителей и специалистов до исполнителей. В центр диспетчерской службы – диспетчерский пункт – колхоза, совхоза поступает с мест вся текущая информация, а отсюда отправляются на рабочие участки соответствующие распоряжения руководителей и специалистов. Этот пункт оснащается средствами связи, устройствами обработки, хранения и наглядного отображения информации.

Важная роль в диспетчерской службе отводится средствам телеконтроля и телесигнализации, которые осуществляют автоматическое слежение за режимами всех основных технологических процессов. А информация о состоянии дел поступает на диспетчерский пункт от специальных датчиков, расположенных на контролируемых объектах.

Вообще же обилие данных, с которыми приходится иметь дело диспетчеру, необходимость быстрой оценки обстановки и оперативного принятия решений выдвигают проблему полной автоматизации процессов обработки информа-

ции и ее наглядного отображения. Дальнейшее совершенствование оперативного управления сельскохозяйственным производством видится в компьютерном оснащении диспетчерских служб колхозов и совхозов.

Но прежде чем перейти к рассказу об этом, представляется уместным хотя бы немного побеседовать о том основном предмете, с которым имеет дело оперативное управление, — *о времени*. А время, пожалуй, главный фактор и наиболее дефицитный ресурс в нашей жизни, поэтому не будет лишним уделить ему несколько страниц.

ПАРАДОКСЫ ВРЕМЕНИ

Все в мире находится в неумолимой власти времени, а что оно такое — этого никто не знает: реальность оно или всего лишь абстракция, призрачный плод нашего сознания?

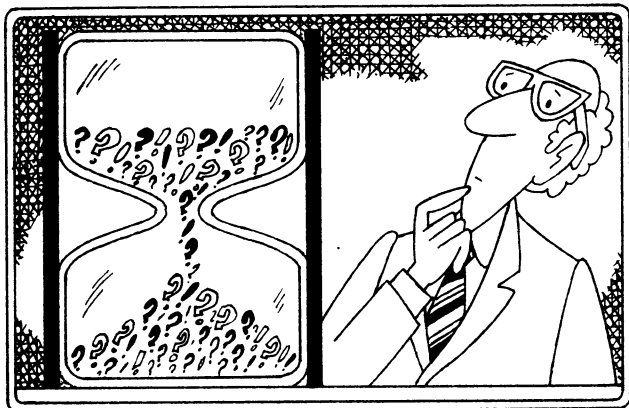
«Итак, что же такое есть время? — вопрошал блаженный Августин и продолжал: Пока никто меня о том не спрашивает, знаю; а когда меня спросит кто-нибудь и я хочу дать объяснение спрашивающему — не знаю. И все же с достоверностью утверждаю: знаю».

Нельзя не умилиться простодушию святого, которого называли христианским Платоном, ошеломленной непостижимой тайной времени. Реальный Платон был более категоричным, заявляя: «Время — подвижный образ вечности», но эта поэтическая метафора вряд ли может внести ясность в неразрешимую загадку.

Течет время, которое никогда не начиналось и никогда не кончится, которое нельзя ни остановить, ни ускорить и ни замедлить, а философы все продолжают спорить о том, где пре-

бывает время: внутри нас или в окружающих нас предметах, или оно существует само по себе. Многие считают, что время – чисто психологический феномен и что «времени нет там, где некому его считать». Другие утверждают, что только настоящее имеет бытие в природе. Прошлые события существуют лишь в памяти, а будущее не имеет никакого реального бытия, оно всего лишь наше ожидание. Но некоторые ученые (а среди них были Вейль и Эйнштейн) сравнивают мир с кинолентой, где запечатлено абсолютно все, что было и что будет, а перед нашими глазами просто разворачивается последовательность кадров этой бесконечной ленты, которые мы воспринимаем как настоящее. Лента – вечность, а в вечности покоится все.

А теперь спустимся с заоблачных философских высей и посмотрим на время с житейской точки зрения. Чем бы оно ни было, его от-



пущено каждому из нас до обидного мало, и оно всегда в дефиците. Время нельзя сохранить, вернуть, пустить вспять – оно всегда уходит безвозвратно. Потому страстный призыв гетевского Фауста «Остановись, мгновение!» никогда не найдет отклика в вечности.

Но об этой эфемерной, бесплотной и вместе с тем величайшей ценности мы сплошь и рядом забываем в повседневной сутолоке жизни. Конечно, мы потихоньку ворчим в очередях, в приемных начальников, на пустопорожних совещаниях, но наша реакция никак не соответствует масштабам утрат. «Кто не заметил, что обкраден, тот ничего не потерял». А между тем беспечное отношение к своему и чужому времени вполне реально становится основной угрозой и нашим самым простым желаниям, и нашим самым величественным замыслам.

«Время – деньги», – говорят американцы. «Время – единственное, где скарденность похвальна», – утверждает французская поговорка. Эту же мысль, но более точно выразил К. Маркс, заявив, что «любая экономия в конце концов сводится к экономии времени». Поэтому, провозгласив курс на создание ресурсосберегающей экономики, нам надо начать с преодоления пренебрежительного отношения к главному и невозполнимому ресурсу – времени. А его ход, пожалуй, особенно заметен в сельском хозяйстве, где цикл работ извечно связан со сменой сезонов. Недаром народная мудрость гласит: «Весенний день год кормит», так что, упустив срок, здесь часто можно потерять все. О чем бы ни шла речь, нам нужно возвеличить время, учитывать его поминутно, использовать во благо каждый час. Бережное отношение к

времени должно укорениться в общественном сознании, стать нравственным императивом, стилем нашей жизни.

Время не материально, но один из его парадоксов состоит в том, что для целого ряда отраслей народного хозяйства оно выступает в качестве конечного продукта вполне материального производства. Взять хотя бы технический сервис. Ремонт и обслуживанием машин в аграрной сфере занимается множество людей, на поддержание в надлежащем состоянии машинно-тракторного парка колхозов и совхозов ежегодно расходуются миллиарды рублей. Но что производит эта мощная индустрия? Если шахтер добывает уголь, металлург выплавляет сталь, машиностроитель выпускает технику – их продукцию можно взвесить, измерить, сосчитать, то рабочий, занятый ремонтом, регулировкой или заправкой машин, не производит нового вещественного продукта. В чем тогда состоит полезный эффект его труда? В каких единицах измерить результаты деятельности, скажем, ремонтной мастерской, нефтебазы, склада запчастей?

По сути дела, продукцией, вырабатываемой системой технического сервиса, является время – время работоспособности машины. Может показаться странным, что результат усилий людей выступает в виде столь эфемерного продукта, как время. Но это верно. Все показатели объема и качества продукции технического сервиса так или иначе сводятся к измерению времени. Заправляя машину топливом, устраняя неисправности, мы на какое-то время возвращаем ей работоспособность. Вот это время и является продукцией, которую мы производим.

Период жизни машины состоит из двух видов чередующихся интервалов: когда машина работоспособна и когда она по какой-либо причине не может выполнять работу, для которой создана. Возьмем отрезок времени, положим, напряженный срок посевной или уборочной страды, и подсчитаем период τ , в течение которого машина была работоспособна, и продолжительность θ ее неработоспособности. Значит, отношение

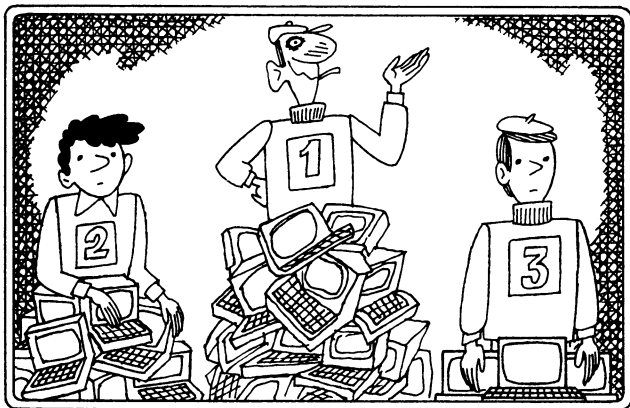
$$K = \tau / (\tau + \theta)$$

будет характеризовать ту долю времени, когда машина находилась в работоспособном состоянии. Этот показатель называют коэффициентом готовности машины. Пусть он будет равен в хозяйстве 0,8. Следовательно, потенциальные возможности техники используются только на 80 процентов, и если она, скажем, не справляется с работой, то имеются два пути поправить дело: или приобрести дополнительные новые машины, или увеличить время работоспособности имеющихся. Выходит, столь призрачная, нематериальная субстанция, как время, и такой материальный предмет, как машина, в определенном смысле, по формальной логике, вполне взаимозаменяемы, а значит, в какой-то мере равноценны.

В повышении работоспособности машин особенно велика роль системы оперативного управления, о которой мы уже говорили. Многочисленные наблюдения и исследования показывают, что внедрение в хозяйстве диспетчерской службы сразу приводит к сокращению простоев техники вдвое, то есть время ее работоспособности существенно увеличивается.

Причем рассматриваемая проблема стала особенно острой в связи с увеличением мощности и производительности сельскохозяйственной техники. Например, если час простоя давнего трактора ДТ-54 стоил государству около 5 рублей, то для «Кировца» это обходится уже вчетверо дороже.

Задача воспитания уважительного отношения к времени многогранна, и здесь хотелось бы указать на ее прямую связь с качеством продукции, дав еще один поворот нашей теме. Эта ставшая поистине всенародной проблема, пожалуй, не столько научная и техническая, сколько социальная, точнее – нравственная. У нас есть абсолютно все, чтобы производить высококачественные вещи, а большинство наших рабочих и специалистов хорошо знают, как их сделать, чтобы они отвечали мировым стандартам. Низкое качество изделий – результат неряшливости,



скверной дисциплины, безответственности, а это, согласитесь, во многом уже моральные категории. Известно, например, что 70–80 процентов поломок сельскохозяйственных машин в поле имеют заводское происхождение: из-за небрежной их сборки и регулировки, дефектов сварки и пайки, несоблюдения режимов термической обработки деталей, отклонения их размеров от чертежей и т. д. Не преувеличивая, можно сказать, что качество – это аккуратность, аккуратность и еще раз аккуратность.

Не следует, однако, огульно обвинять рабочих и специалистов. Талантливых, трудолюбивых людей, истинных мастеров своего дела у нас немало. Но часто они поставлены в такие условия, когда их труд слабо стимулируется экономически. Казалось бы, должна помочь укоренившаяся у нас с незапамятных времен сдельная оплата труда. На первый взгляд она естественна и справедлива: сколько сделал, столько и получил. Но **сколько** совсем не значит **как**, какого качества. И тут сдельщина бессильна. А госприемка, усиление контроля способны улучшить положение только до некоторого предела.

Тут, пожалуй, уместно небольшое отступление, как принято говорить, личного порядка. К концу пятидесятых годов, когда участились командировки специалистов за границу, довелось послушать сообщение одного из них о впечатлениях от поездки по Швеции. Было рассказано о многих удивительных чудесах зарубежной жизни, которые теперь благополучно забылись, но один факт врезался в память. Он и тогда вызвал наибольшее удивление слушателей.

Во время посещения какого-то шведского

сельскохозяйственного предприятия наш командированный поинтересовался системой оплаты рабочих. «Мы платим им две кроны за час работы»,— ответил директор. «Этого не может быть!— изумился собеседник.— А если среди рабочих окажется лодырь?» Шведы долго не могли понять, о чем или о ком идет речь. Наконец, уразумев, директор пожал плечами и ответил: «Вообще-то, лодырей среди наших рабочих и служащих нет».— «Ну, а если все-таки такой появится?»— не сдавался наш товарищ.— «Ну, тогда мы дадим ему расчет за две недели вперед и скажем, чтобы на работу он больше не приходил».

Проще всего старательность шведского рабочего объяснить постоянно висящей над ним угрозой безработицы, но это было бы даже не половиной правды. У нас тоже имеется достаточно мер и средств, чтобы призвать к порядку лодыря или неумеху. Дело здесь, пожалуй, и в ином. Уже в самом термине «повременная оплата» есть намек, исключительно уважительное и бережное отношение к времени, граничащее с его культом, воспитанное в поколениях и вошедшее в кровь и плоть человека. Вот тут нам есть чему поучиться: как ценить время—свое и чужое, рабочее и свободное. А беречь его надо ничуть не меньше, чем самые необходимые материальные ресурсы—землю и хлеб, металл и энергию.

...Может показаться, что мы немножко отклонились от основной нашей темы, пустившись в рассуждение о таинственном и столь близком каждому из нас феномене времени. Но это не так. Усложнение производства, резкое ускорение и поточность технологических процессов,

использование компьютеров, совершенствование управления народным хозяйством, неизмеримо возросшие требования к качеству в любом виде деятельности требуют нового подхода к времени, они придают вес и значение минутам и секундам, к которым мы, увя, привыкли относиться довольно беспечно.

КОМПЬЮТЕР В СИСТЕМЕ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Оснащение диспетчерских служб колхозов и совхозов вычислительной техникой позволяет широко использовать в повседневной практике методы оптимизации планов и решений. Проиллюстрируем эти возможности двумя крайне упрощенными примерами.

Пусть в распоряжении управляющего отделением совхоза находится 20 тракторов ДТ-75 и 26 тракторов МТЗ-80. Необходимо выполнить два вида работ: 1000 гектаров прокультивировать и 2000 гектаров заборонить. Производительность трактора ДТ-75 на культивации 50 гектаров в день, на бороновании 130, трактора МТЗ-80 – соответственно 30 и 80 гектаров в день.

Попробуем составить разные варианты плана. Ну, скажем, такой. Предположим, все тракторы ДТ-75 направим на культивацию, а все МТЗ-80 – на боронование. Заданная работа будет выполнена полностью: $50 \text{ га} \cdot 20 = 1000$ гектаров культивации и $80 \text{ га} \cdot 25 = 2000$ гектаров боронования. Подсчитаем затраты, если культивация одного гектара трактором ДТ-75 обходится 0,9 руб., трактором МТЗ-80 – 1 руб., а боронование – соответственно 0,25 и 0,34 руб. То-

гда вся работа обойдется $0,9 \cdot 1000 + 0,34 \text{ руб} \times 2000 = 1580$ рублей.

Составим наугад другой вариант расстановки тракторов по работам. Пусть культивацию проводят 8 тракторов ДТ-75 и 20 тракторов МТЗ-80: $50 \text{ га} \cdot 8 + 30 \text{ га} \cdot 20 = 1000$ гектаров культивации. На бороновании используем остальные 12 тракторов ДТ-75 и 5,5 трактора МТЗ-80 («половинка» трактора означает, что он будет работать вдвое меньше времени: $130 \text{ га} \times 12 + 80 \text{ га} \cdot 5,5 = 2000$ гектаров боронования. Стоимость же работы в данном случае составит $0,9 \text{ руб.} \cdot 400 + 1 \text{ руб.} \cdot 600 + 0,25 \text{ руб.} \cdot 1560 + 0,44 \text{ руб.} \cdot 440 = 1500$ рублей, то есть на 80 рублей меньше, чем при первом варианте.

При желании можно попробовать еще около десятка способов расстановки техники по работам, и затраты при каждом из них будут разные. Разумеется, такой подход возможен лишь в столь упрощенном примере. В реальных условиях и работ, которые одновременно производятся в хозяйстве, неизмеримо больше, и выбор агрегатов для их выполнения значительно богаче. Решение подобных задач по силам только компьютеру, но уж и вариант он выберет действительно наилучший, оптимальный, и делает это быстро.

А вот пример (тоже упрощенный) из области так называемых транспортных задач, которые занимают большое место в работе диспетчерских служб (распределение автомобилей, составление графиков перевозок и т. д.).

Пусть семена в совхозе сконцентрированы в двух складах *A* и *B* вместимостью 150 и 90 тонн. Сев производят бригады № 1, 2 и 3, которые должны высеять соответственно 60, 70 и 110

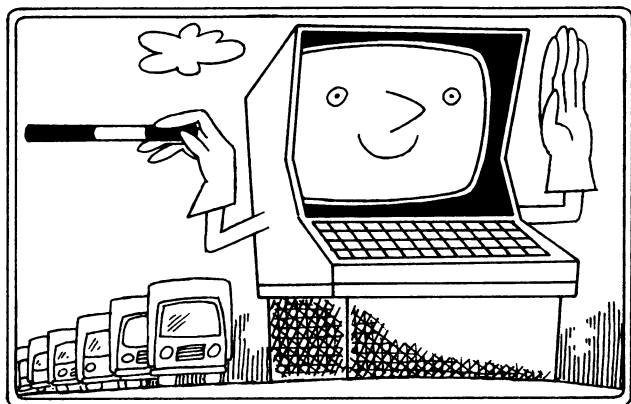
тонн семян. Поскольку расстояние от складов до места сева разное, то и затраты на доставку будут неодинаковыми.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 1, где в угловых клеточках указана стоимость доставки одной тонны семян со склада в бригаду.

Таблица 1

Вместимость склада, тонн		Расход семян бригадами, тонн		
		№ 1	№ 2	№ 3
		60	70	110
<i>A</i>	150	6	10	4
		12	2	8
<i>B</i>	90			

Заметим попутно, что сформулированная задача носит общий характер и может быть использована для решения различных транспортных проблем – планирования доставки горючего, перевозок зерна от комбайнов на ток и т. п. И хотя с целью упрощения примера мы приняли, что вместимость складов равна расходу семян тремя бригадами, это обстоятельство не ограничивает общности задачи, поскольку при нарушении равенства в объеме груза у отправителя и получателей всегда можно ввести условный склад или условную бригаду, которые обеспечат баланс при расчете.



Однако приступим к решению задачи. Не мудрствуя лукаво, наметим такие маршруты транспортировки семян: бригады № 1 и 2 получают семена со склада *A*, а бригада № 3 – в основном со склада *B*, но 20 т – со склада *A*. Эти данные приведены в таблице 2, причем в маленьких клетках указано количество семян, доставляемых со складов в бригады.

Подсчитаем, во что обойдется перевозка семян к месту сева: $6 \cdot 60 + 10 \cdot 70 + 4 \cdot 20 + 8 \cdot 90 = 1860$ рублей.

Очевидно, составленный план перевозки семян можно улучшить. Будем рассуждать так: самый дешевый маршрут из склада *B* в бригаду № 2, поэтому всю потребность этой бригады в семенах покроем из склада *B*. Второй по экономичности маршрут из склада *A* в бригаду № 3, вот из него и покроем потребность этой бригады в семенах. Перебирая последовательно маршруты по мере возрастания их стоимости,

Таблица 2

Вместимость склада, тонн		Расход семян бригадами, тонн					
		№ 1		№ 2		№ 3	
		60		70		110	
А	150	60		70		20	
		6		10		4	
В	90	90		70		20	
		12		2		8	

придем к следующему плану перевозок (табл. 3).

Затраты на перевозку семян по второму варианту будут меньше: $6 \cdot 40 + 4 \cdot 110 + 12 \cdot 20 + 2 \cdot 70 = 1060$ рублей.

Таблица 3

Вместимость склада, тонн		Расход семян бригадами, тонн					
		№ 1		№ 2		№ 3	
		60		70		110	
А	150	40		70		110	
		6		10		4	
В	90	20		70		20	
		12		2		8	

Возникает вопрос, а нельзя ли улучшить и этот план перевозки и сократить расходы?

Введем для складов и бригад так называемые потенциалы, обозначив их для складов U_A и U_B , а для бригад — V_1, V_2, V_3 . Зависимость между потенциалами и стоимостью перевозки (C_{ij} — стоимость перевозки тонны семян со склада j в бригаду i) выразится формулой

$$V_i = U_j + C_{ij}.$$

Введенные потенциалы имеют прозрачный экономический смысл — они соответствуют условным дифференциальным ценам перевозимого продукта в пунктах отгрузки и назначения. Так, если стоимость тонны семян на складе A составляет U_A рублей, то в бригаде № 2 с учетом транспортных затрат она будет $V_2 = U_A + 10$ рублей.

Вычислим потенциалы для складов и бригад. Поскольку речь здесь идет об условных ценах, то один из потенциалов мы можем выбрать произвольно, скажем, равным нулю. Пусть $U_B = 0$, тогда $V_1 = 0 + 12 = 12$, $U_A = 12 - 6 = 6$, $V_2 = 0 + 2 = 2$, $V_3 = 6 + 4 = 10$.

При расчете потенциалов мы использовали только те маршруты, которые предусмотрены планом. А теперь проверим два других маршрута, которых нет в плане: доставка семян со склада A в бригаду № 2 и со склада B в бригаду № 3. Вычислим разность потенциалов (цен) между указанными пунктами. Если она окажется больше, чем стоимость перевозки, то это будет означать, что мы напрасно отказались от данного маршрута, поскольку на нем можно получить определенную выгоду. Разность потенциалов бригады № 2 и склада A такова:

$2 - 6 = - 4$ рубля. Она меньше (отрицательная) стоимости перевозки тонны семян по рассматриваемому маршруту (10 рублей), следовательно, использование этого маршрута нецелесообразно. Он и не предусмотрен планом. Разность потенциалов (цен) бригады № 3 и склада *B* составляет $10 - 0 = 10$ рублей, что больше стоимости перевозки тонны семян по данному маршруту (8 рублей). Поэтому, направляя по нему какую-то часть семян, мы извлечем выгоду. Остается только определить, сколько семян из склада *B* следует отправить в бригаду № 3. Обозначим это количество λ и составим таблицу 4.

Таблица 4

Вместимость склада, тонн		Расход семян бригадами, тонн		
		№ 1	№ 2	№ 3
		60	70	110
<i>A</i>	150	6	10	4
		$40 + \lambda$		$110 - \lambda$
<i>B</i>	90	12	2	8
		$20 - \lambda$	70	λ

Здесь мы отразили необходимость соблюдения баланса между наличием семян в складах и потребностью бригад в семенах. Решив отправить часть семян λ в бригаду № 3 со склада *B*, мы должны уменьшить их доставку в эту бригаду и со склада *A* и произвести другие оче-

видные из таблицы 4 изменения в плане перевозок. Что касается конкретного значения λ , определить его не представляет труда. Поскольку доставка семян из склада *B* в бригаду № 3 дешевле, чем в бригаду № 1, то все семена, предусмотренные ранее к отправке из склада *B* в бригаду № 1, мы направляем в бригаду № 3.

Окончательный план перевозки семян представлен в таблице 5.

Таблица 5

Вместимость склада, тонн		Расход семян бригадами, тонн					
		№ 1		№ 2		№ 3	
		60		70		110	
<i>A</i>	150	60		70		90	
		6	10	4			
<i>B</i>	90	70		20		20	
		12	2	8			

Затраты на доставку семян в бригаду теперь:

$$6 \cdot 60 + 4 \cdot 90 + 2 \cdot 70 + 8 \cdot 20 = 1020 \text{ рублей,}$$

оказываются меньше, чем при предыдущем плане, который мог показаться очень разумным.

Предпринятые нами выкладки были не очень сложны, но все же они довольно трудоемки и монотонны. Однако если бы нам понадобилось

составить план перевозок для десятков отправителей и получателей, то задача оказалась бы не только сложной и обременительной, но и практически невыполнимой вручную, а эффект оптимизации, конечно, выглядел бы более внушительным. Для компьютера же решение подобных задач – секундное дело.

Математический метод, который был применен к обоим приведенным примерам, называется *линейным программированием*, и немного позже мы познакомимся с ним более подробно. Это весьма универсальный и хорошо разработанный метод решения разнообразных задач оптимизации. Следует также иметь в виду, что для его использования диспетчеру нет необходимости углубляться в премудрости математики и программирования, поскольку имеются готовые стандартные программы и остается только ознакомиться с прилагаемой инструкцией.

Но тем возможности компьютеров в диспетчерском деле не исчерпываются. Они могут служить и в качестве информационных систем. Так, если в память компьютера поместить сведения о каждой машине, о ее наработке, расходе ею топлива и смазки, о ее ремонтах и замене деталей и т. д., то ЭВМ будет периодически анализировать состояние машинно-тракторного парка хозяйства и подсказывать диспетчеру, как лучше использовать сельскохозяйственную технику.

ЧТО ТАКОЕ АСУ?

Наверное, многие знают ответ на этот вопрос, и все-таки поясним: АСУ – *автоматизиро-*

ванные системы управления, которые создаются для совершенствования управления отраслями народного хозяйства, производственными объединениями и предприятиями на основе широкого применения математических методов, вычислительной техники и современных средств связи. Они призваны обеспечить оптимальность планов, оперативность и обоснованность принимаемых решений и объективный контроль за состоянием и ходом дел на управляемом объекте. Такое управление в значительной мере способствует рациональному использованию имеющихся производственных ресурсов, увеличению выпуска продукции и снижению ее себестоимости, улучшению ее качества.

Различают автоматические и автоматизированные системы управления. В первых человек не принимает непосредственного участия в процессе управления. Подобные системы напрямую соединяются с исполнительными механизмами, которые и выполняют заданную работу. Примерами автоматических систем могут служить станки с программным управлением, автоматические линии и т. д. Действие автоматизированных систем управления (АСУ) предполагает обязательное участие человека. В таких системах в большей или меньшей степени автоматизированы процессы сбора, поиска и обработки информации и представления ее работникам в удобном для использования виде. Завершающую фазу управления – доработку решения и проведение его в жизнь для достижения нужного результата – выполняют люди. Поэтому данные системы более правильно было бы назвать *информационными*.

АСУ создаются для разных уровней управ-

ления: отделением (цехом), предприятием, объединением, отраслью. Их отличают также по функциональному назначению: автоматизированные системы плановых расчетов, материально-технического снабжения, государственной статистики и т. д.

Любая АСУ состоит из трех элементов: информационной базы, комплекса технических средств и системы программ для компьютера.

Информационная база представляет собой набор данных, необходимых для решения задач, возложенных на АСУ. Сюда входят нормативные и справочные материалы, плановые показатели, накапливаемые учетные и статистические сведения. Но, кроме этих относительно постоянных массивов информации, имеются и массивы переменной, рабочей информации, скажем, о состоянии объекта управления и окружающей среды. Один из основных принципов организации информационной базы АСУ состоит в том, чтобы любые данные вводились в нее один раз, а использовались многократно для решения разных задач. Поэтому базовая информация записывается и хранится на магнитных лентах, дисках или других носителях, с которых легко может быть считана компьютером.

Совокупность данных и комплекса программ для сортировки, обновления и быстрого поиска нужной информации называется *банком данных*. Это центр накопления информации, где она находится в постоянной готовности к использованию.

АСУ представляет собой информационную сеть, состоящую из вычислительного центра с банком данных и разветвленной системы пе-

риферийных устройств и предназначенную для обеспечения пользователей необходимой и заранее обработанной информацией в нужном объеме и в требуемое время.

Комплекс технических средств включает в себя одну или несколько ЭВМ, устанавливаемых обычно в вычислительном центре, и терминалы – в местах возникновения и потребления информации, с помощью которых она передается и принимается в форме готовых документов.

Математическое и программное обеспечение – это набор математических моделей, алгоритмов и программ, предназначенных для решения возложенных на АСУ задач. Сюда входит общесистемный комплекс программ, который обеспечивает выполнение однотипных операций для всех задач: ввод данных в память компьютера, формирование информационных массивов, выдачу результатов, а также управление работой всех технических устройств системы. Кроме общесистемного комплекса, предусмотрена библиотека рабочих программ для решения конкретных задач.

Вычислительная техника в сельском хозяйстве концентрируется преимущественно в областных и республиканских информационно-вычислительных центрах. На их основе и создаются АСУ агропромышленного комплекса. Каждый центр развертывает внутри области сеть пунктов первичной обработки информации. Они создаются на предприятиях, складах и базах и соединяются с вычислительным центром линиями связи.

Применять компьютеры в сельском хозяйстве прежде всего начали для управления снаб-

жением запасными частями. Это действительно такая сфера деятельности, где без помощи вычислительной техники обойтись невозможно. Судите сами. Номенклатура запасных частей, поставляемых колхозам и совхозам, достигает 100 тысяч наименований. Их производством занято более тысячи заводов. Запчасти хранятся на полках десятков тысяч складов и баз, и любую из них нужно очень быстро доставить, когда это потребуется, к одной из многих машин, разбросанных по обширной территории. Проблема снабжения запасными частями сильно усложняется еще и тем, что потребность машины в той или иной детали нельзя предугадать: заранее не скажешь, какая и когда понадобится деталь. Но задержка доставки нужной запчасти к неисправной машине – это всегда простой техники, не выполненная в срок работа, а значит, и потери продукции. Ученые подсчитали, что более половины простоев сельскохозяйственной техники приходится на ожидание нужной запчасти, поэтому повышение оперативности системы снабжения следует считать основным резервом увеличения производительности машинно-тракторного парка.

Сейчас практически на всех областных и республиканских торговых базах организованы информационно-вычислительные центры, оснащенные ЭВМ. На районных и межрайонных базах и складах созданы абонентные пункты с терминалами для обмена информацией с вычислительным центром. Компьютеры ведут учет наличия и движения всей массы деталей на базах и складах и осуществляют оперативное руководство снабженческой деятельностью.

Только компьютеру и по силам справиться с

огромным объемом документации торговой базы. Еще раньше товара сюда приходят с завода документы, сообщающие об отгрузке деталей. Сведения, содержащиеся в товарно-транспортной накладной, в счетах, немедленно вводятся в ЭВМ. В памяти компьютера хранится план поставки запчастей с каждого завода в номенклатурном, количественном и временном аспектах, так что электронный контролер в случае нарушения поставщиком договорных обязательств готовит документ для предъявления штрафных санкций. Затем компьютер указывает, как следует распорядиться с прибывающей партией запчастей. Часть деталей должна поступить в зону комплектации, где формируются партии для отправки потребителям согласно плану снабжения и имеющимся заявкам. Часть направляется на хранение, причем ЭВМ указывает и запоминает точный адрес стеллажа, полки и ячейки для каждой детали. В дальнейшем на их поиск не придется тратить времени.

А время действительно дорого. До применения ЭВМ товары, поступившие на базу, неделями, а то и месяцами лежали без движения, ожидая, пока работники базы их оприходуют и распорядятся их судьбой. Детали были на базе, и в то же время их как бы и не существовало. Так вот, только в результате компьютерной обработки приходных документов на поступающие запчасти удается вовлечь в оборот дополнительно деталей на миллионы рублей. Здесь уместно еще раз указать, что информация часто оказывается равноценной вполне материальным вещам — запасным частям, машинам, деньгам.

Отпуск деталей потребителям оформляется документами — счетами, информация о которых

также передается в ЭВМ. Очень важно, чтобы обычный счет – фактура и его копия на машинном носителе, которую способен прочитать компьютер, готовились одновременно, за один раз. Поэтому базы и склады оснащают бухгалтерскими автоматами, в которых объединены счетная, пишущая машинки и специальное устройство, копирующее фактуру на перфоленту. Эту ленту затем и вводят в ЭВМ. Таким образом, в памяти компьютера постоянно хранится информация о поступлении, отпуске и запасах всех деталей на складе.

Заявки от потребителей также поступают в компьютер, который сверяет их с записанным в его памяти планом снабжения, проверяет, есть ли запрашиваемые детали на базе, и, если заявка полностью или частично может быть удовлетворена, печатает счет и оформляет документы на отгрузку товара заказчику.

Конечно, идеальное содружество снабженцев с компьютером не дается само собой. Его надо терпеливо налаживать. А ведь иногда от компьютера ожидают большего, чем он может сделать, и возникают горькие обиды и разочарования. Кое-где поспешили создать АСУ на базе ЭВМ второго поколения, которые просто не обладали способностями для такого трудного и ответственного дела, как управление снабжением, не могли, например, вести свободный диалог с оператором, а без этого невозможно их использовать для решения оперативных вопросов. Однако куда больше недоразумений происходит потому, что как раз люди не оправдывают «надежд» компьютера – оказываются недостаточно дисциплинированными и аккуратными, чтобы иметь дело со столь точной и пунк-

туальной техникой. Впрочем, обычно подобные затруднения быстро ликвидируются, и уже ничто не омрачает творческого содружества человека и его электронного помощника.

Кстати, здесь нелишне будет коротко рассказать об опыте ведущих фирм США по использованию компьютеров в управлении снабжением запасными частями. Посредниками между фирмами-изготовителями машин и потребителями-фермерами там служат так называемые дилеры, которые обеспечивают фермеров и запасными частями. Номенклатура и количество деталей, хранящихся на складе дилера, позволяют ему немедленно удовлетворять 85-90 процентов заявок фермеров, а когда нужной детали нет, дилер обращается в региональный центр. Оформление заказа с помощью ЭВМ-буквально минутное дело. Компьютер обнаруживает необходимую деталь на одном из складов региональных центров страны, определяет наиболее выгодный маршрут ее доставки и выписывает счет. Уже вечером того же дня или утром следующего деталь находится у потребителя. А в периоды напряженных сельскохозяйственных работ запасные части с удаленных складов доставляются фермеру на самолете или вертолете. Это, конечно, обходится недешево, но убытки, связанные с простым машины и неизбежной при этом потерей урожая, оцениваются выше, чем затраты на оперативную транспортировку запасных частей.

Словом, бережливость должна быть расчетливой, но не скаредной, потому что, как известно, скупой платит дважды.

Глава 4 ЗАЯВКУ НА МАШИНЫ СОСТАВЛЯЕТ КОМПЬЮТЕР

Глупец гадает; напротив того, мудрец проходит жизнь, как огород, наперед зная, что кой-где выдержится ему репа, а кой-где и редька.

Козьма Прутков

И если кто-нибудь усомнился бы в том, что я выдвигаю, я ответил бы ему: «Давайте вычислим, сударь!» – и мы, взяв перо и чернила, быстро вышли бы из затруднительного положения.

Лейбниц

ОПТИМИЗАЦИЯ В ТРЕХ СФЕРАХ

Три сферы – это, по международной терминологии, воздух, вода и земля. А упомянули мы их отнюдь не случайно...

Во время второй мировой войны в Англии и США были организованы специальные группы ученых – математиков, физиков, статистиков – для научного анализа и оценки различных вариантов решения задач командованием военно-воздушных и военно-морских сил в ходе боевых операций. Одна из первых задач такого рода была связана с эффективностью использования самолетов для обнаружения немецких подвод-

ных лодок. Возможность заметить подлодку с воздуха зависит от многих факторов и, в частности, от высоты и скорости полета, режимов движения самолетов в заданной зоне, взаимодействия их с надводными кораблями и т.д. Разработав соответствующие формулы и произведя по ним расчеты, ученые оказали существенную помощь американскому и английскому командованиям в планировании разведывательных операций.

Однако эта история не ограничилась лишь боевыми действиями и не кончилась вместе с войной, а имела далеко идущие последствия. Созданная для решения военных задач научная методология управления стала быстро утверждаться в мирной жизни, распространяться в промышленности, на транспорте, в торговле, сельском хозяйстве, строительстве. Благодаря развитию математики, кибернетики и вычислительной техники появилась возможность ставить и решать в области управления экономикой принципиально новые задачи, при которых принимаются в расчет сложные зависимости между многочисленными и разнообразными факторами.

Комплекс прикладных наук, в основном математического характера, предназначенный для научного обоснования управленческих решений, получил название «*исследование операций*». Обращение к этим методам обусловлено стремлением внести в практику управления элементы логической и математической строгости.

Задачи, с которыми имеет дело исследование операций, к какой бы области знания они ни относились, имеют общие черты, и при их решении используются сходные методические при-

емы. Прежде всего выявляются и задаются некоторые главные исходные условия, определяющие рассматриваемую ситуацию и воспринимаемые как неизменная данность: применительно к нашей тематике это может быть, например, состав и численность машинного парка, площадь угодий колхоза или совхоза, физиологические потребности животных в конкретных кормах и т. д. Для таких условий и нужно найти решение, которое, говоря попросту, было бы самым выгодным, наименее убыточным. Отличие методов исследования операций от обычного технико-экономического анализа состоит в том, что они должны дать наилучшее, оптимальное решение производственной задачи, когда цель ясна и четко сформулирована, но имеется несколько путей ее достижения. Эти методы позволяют найти и наилучший способ прийти к избранной цели.



Чтобы судить об оптимальности решений и сравнивать между собой различные их варианты, устанавливается количественный показатель – *критерий эффективности* решения. Решение считается оптимальным, если критерий эффективности принимает экстремальные – максимальное или минимальное – значения (в зависимости от существа задачи). Конкретный вид критерия зависит от специфики задачи, так что очень важно правильно его выбрать.

И опять обратимся к примеру из истории второй мировой войны. Тогда английские торговые суда стали оснащать зенитными пушками для защиты от немецких бомбардировщиков. Мероприятие оказалось дорогим, поскольку требовало иметь на каждом корабле не только пушку, но и дополнительную команду. Поэтому через несколько месяцев произвели оценку эффективности принятых мер. Оказалось, что зенитки поражали всего лишь 4 вражеских самолета из 100 атакующих. Результаты показались невысокими, и последовало предложение пушки с кораблей снять. Но лица, настаивающие на этом, применили неверный критерий. Назначение орудий было не сбивать противника, а защищать корабли от атак с воздуха, что не одно и то же. Когда на дело посмотрели с такой точки зрения, оказалось, что применение пушек на торговых судах довольно эффективно. Из числа атакованных кораблей, оснащенных зенитными орудиями, было потоплено только 10 процентов, а из незащищенных – в 2,5 раза больше.

А теперь, после батальных сцен на море и в воздухе, обратимся к третьей сфере – земле и к сугубо мирному занятию – сельскому хозяйству.

Но, увы, и тут можно привести множество примеров, когда ошибка в выборе показателя цели приводила к большим потерям. Так, о деятельности системы снабжения технического сервиса до последнего времени судили по объемам товарооборота, поэтому базы и склады были заинтересованы в том, чтобы как можно больше продать дорогих запасных частей, а как обстоит дело с простоями техники из-за отсутствия нужных копеечных деталей, их не интересовало. Объем выпуска запчастей и их продажа из года в год росли, а простои машин не снижались. Или, скажем, в бытность «Сельхозтехники» эффективность работы ее ремонтных предприятий оценивалась по так называемому валу – объемам произведенного ремонта. Повсеместно росли гиганты ремонтной индустрии, колхозы и совхозы силовыми приемами принуждались направлять сюда на капитальный ремонт машины, которые дешевле и более качественно можно было отремонтировать на месте. А после ликвидации «Сельхозтехники» возникла острая проблема, чем занять эти заводы, которые были порождены ошибкой в определении цели для системы технического сервиса, чья подлинная задача состоит не в увеличении количества дорогих ремонтов, а в снижении простоев техники.

Поэтому прежде чем приступать к подготовке решения какой-либо проблемы, следует очень четко уяснить, в чем ее суть, какие препятствия стоят на пути ее решения, как обстояло дело в прошлом, что следует изменить и как это может сказаться на результатах.

Наиболее трудная часть исследования операций – разработка математической модели, где в

форме уравнений должны найти свое отражение связи критерия эффективности с тем набором условий и ограничений, которые определяют решение производственной задачи. Эта работа требует хорошего знания не столько математики, сколько существа хозяйственной проблемы. Составителя математической модели подстерегают две опасности: первая – утонуть в подробностях и значительно усложнить модель, вторая – слишком упростить реальную ситуацию.

Мы не случайно намекнули на то, что инженерам, агрономам, зоотехникам, экономистам не обязательно досконально разбираться в данном разделе математики и компьютерной технике – важнее владеть глубокими профессиональными знаниями по своей специальности. Что же касается математики, то она располагает обширным ассортиментом готовых стандартных методов для решения практически любой задачи, которая может встретиться специалисту-производителю. Ему остается только подобрать из них тот, который лучше подходит для поиска ответа на конкретный вопрос.

Математические методы, используемые при обосновании оптимальных решений, носят название методов *математического программирования*. Не следует путать этот термин с программированием задач для решения их на компьютере, то есть перевод задачи на язык вычислительной техники. Понятие «математическое программирование» вполне можно было бы заменить на «оптимальное планирование», но в науке утвердился первый термин, поэтому и нам придется пользоваться им. Существует несколько разделов прикладной математики, предла-

гающих свои методы математического обеспечения: динамическое программирование, целочисленное программирование, нелинейное программирование и др. Но поскольку для решения интересующего нас круга задач широкое практическое распространение получили методы *линейного программирования*, то давайте с ними и познакомимся.

ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Этот раздел математики обязан своим появлением вполне конкретной и весьма прозаической хозяйственной задаче: на деревообрабатывающей фабрике понадобилось оптимизировать раскрой фанерных листов. Решение задачи дал в 1939 году советский ученый Л. В. Канторович и тем самым оказался родоначальником целого направления, которое позднее получило название линейного программирования. Правда, тогда его методика осталась незамеченной и лишь спустя десятилетие была «переоткрыта» американскими математиками и вскоре стала широко применяться на практике.

Раз уж само линейное программирование возникло из частной задачи, то и мы поясним его принципы на конкретном примере из близкой нам области, приведенном в предыдущей главе и касающемся распределения тракторов по сельскохозяйственным работам.

Итак, в отделении совхоза имеется 20 тракторов ДТ-75 и 26 тракторов МТЗ-80, с помощью которых в течение дня надо выполнить два вида работ: культивацию на 1000 и боронование на 2000 гектаров. Условия задачи представлены в таблице.

№ п/п	Трактор	Количество тракторов, шт.	Производительность трактора, га/смена		Затраты, руб/га	
			на культивации	на бороновании	на культивации	на бороновании
1	ДТ-75	20	50	130	0,9	0,25
2	МТЗ-80	26	30	80	1,0	0,34

Говоря школьным языком, это то, что дано, а вот требуется таким образом распределить технику по работам, чтобы общие затраты на их выполнение были минимальными. Тогда, понятно, план производства работ и можно будет считать оптимальным. Значит, в задаче критерием эффективности следует считать суммарные затраты на выполнение тракторных работ.

Заметим попутно, что при использовании методов математического программирования очень часто обращаются именно к экономическим критериям, но не всегда. Скажем, в нашем случае можно бы поставить вопрос иначе: так разделить технику, чтобы вся работа была выполнена в минимально короткий срок, а следовательно, критерием оптимальности служило бы время. Или задаться целью распределить тракторы для производства за смену максимального количества работы. Одна из особенностей линейного программирования, обеспечившая его широкое практическое применение, — это как раз его гибкость, позволяющая учитывать самые разнообразные условия и требования реальной ситуации.

Но вернемся к нашему примеру. Теперь критерий эффективности следует представить математически, в виде уравнения, а для этого нужно ввести буквенные обозначения искомых величин. Поскольку задача состоит в том, чтобы определить, сколько тракторов каждой марки поставить на культивацию и боронование, обозначим эти неизвестные, как и принято в алгебре, буквой X , а цифровыми индексами при ней зашифруем вид работы (первая цифра) и марку трактора (вторая): X_{11} – количество тракторов ДТ-75 на культивации; X_{21} – ДТ-75 на бороновании; X_{12} – МТЗ-80 на культивации; X_{22} – МТЗ-80 на бороновании.

Тогда, выразив общие затраты на производство всех работ, критерий эффективности, или, как его еще называют, функцию цели, можно записать так:

$$0,9 \cdot 50X_{11} + 1,0 \cdot 130X_{12} + 0,25 \cdot 30X_{21} + 0,34 \cdot 80X_{22} = \text{минимум}.$$

Выбор решения нашей задачи обусловлен рядом требований, которые принято именовать *ограничениями*.

Первая группа ограничений связана с требованиями, чтобы тракторы выполнили весь заданный объем работы. Математически это условие, если умножить производительность трактора на количество тракторов, поставленных на каждый вид работ, будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} 50X_{11} + 30X_{12} &= 1000 \text{ га,} \\ 130X_{21} + 80X_{22} &= 2000 \text{ га.} \end{aligned}$$

Вторая группа ограничений отражает тот факт, что при любом распределении тракторов

(для выполнения работы) их общее число не должно превосходить имеющегося количества:

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{21} &\leq 20, \\ X_{12} + X_{22} &\leq 26. \end{aligned}$$

Все эти уравнения и неравенства являются математической моделью интересующей нас ситуации. Решив их, мы определим, как следует распределить наличную технику по работам, чтобы, с одной стороны, выполнить их в заданном объеме и, с другой – свести производственные затраты к минимуму.

Теперь о решении подобного рода задач. Наш незатейливый пример можно решить заурядным перебором различных вариантов. Придется сделать около десяти попыток. Поскольку уравнения очень простые, это не займет много времени. Но если бы нам потребовалось распределить не два, а три типа тракторов по трем видам работ, то пришлось бы перебрать уже больше ста вариантов, а вскоре счет пойдет на миллионы. При таком катастрофическом для расчетчика росте вариантов найти среди них оптимальный последовательный оценкой каждого, конечно, невозможно практически для любой реальной задачи.

Линейное же программирование использует специальные алгоритмы, которые позволяют обойтись без перебора всех вариантов. Поиск оптимального решения осуществляется по шагам, но не беспорядочно, а целенаправленно. На каждом шаге решение улучшается, постепенно приближаясь к оптимальному, завершающему вычислительный процесс. Универсальным и общим в решении задач линейного программирования является *симплекс-метод*. К сожалению,

нет возможности с ним здесь познакомиться, потому что изложение заняло бы половину нашей книжки. Но для его практического применения в этом и нет необходимости, поскольку в программное обеспечение большинства компьютеров входят специальные стандартные программы, по которым компьютер автоматически решает задачи линейного программирования, причем пользователям совсем не обязательно знать, каким образом компьютер действует в том или ином случае.

Возможности применения методов линейного программирования для решения практических проблем, связанных с поиском и обоснованием способов наилучшего использования имеющихся ресурсов, очень велики. А ведь подобные задачи каждодневно встают перед руководителями и специалистами, и здесь проявляются их умение и искусство управлять. Впрочем, мы в нашей книге еще покажем, как методы линейного программирования могут быть использованы инженером, агрономом, зоотехником в их повседневной работе.

Прежде чем закончить рассказ о линейном программировании, мы хотели бы привести некоторые символы и формы записей, встречающиеся в специальной литературе, чтобы читателю было легче познакомиться более подробно с эффективными методами поиска и обоснования оптимальных решений многих практических проблем.

Применительно к нашей теме обозначим: C_{ji} – затраты на выполнение единицы j -й работы i -м трактором; a_{ji} – производительность i -го трактора на j -й работе. Все работы (числом m), которые надлежит выполнить, и все марки

участвующих в них тракторов (n) кодируются, как мы уже делали, цифрами 1, 2, 3 и т.д., а значит, индексы j и i являются переменными. Используя эти обозначения, целевую функцию можно представить в общем виде следующим образом:

$$C_{11}a_{11}X_{11} + C_{12}a_{12}X_{12} + \dots + C_{ji}a_{ji}X_{ji} + \dots + C_{mn}a_{mn}X_{mn} = \min (\text{минимум}).$$

При такой записи наша целевая функция может быть использована для составления математической модели, когда требуется распределить любое число тракторов или машинно-тракторных агрегатов по любому числу работ. Недостаток ее — в громоздкости. Поэтому в литературе обычно используется сокращенная запись:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n C_{ji}a_{ji}X_{ji} = \min .$$

Знак суммы \sum обозначает, что нужно сложить слагаемые, которые имеют индекс, указанный внизу, начиная с 1 до его значения, помещенного сверху. Так, $\sum_{i=1}^n$ символизирует сумму затрат всех тракторов (агрегатов) при выполнении одной какой-либо работы, $\sum_{j=1}^m$ — сумму затрат всех тракторов на всех работах.

Обозначив объемы разных видов работ $P_1, \dots, P_j, \dots, P_m$, которые должны быть выполнены тракторами (агрегатами), запишем также систему ограничений:

$$\begin{aligned} a_{11}X_{11} + \dots + a_{1i}X_{1i} + \dots + a_{1n}X_{1n} &= P_1; \\ a_{j1} + \dots + a_{ji}X_{ji} + \dots + a_{jn}X_{jn} &= P_j; \end{aligned}$$

$$a_{m1}X_{m1} + \dots + a_{mi}X_{mi} + \dots + a_{mn}X_{mn} = P_m.$$

В сокращенном виде эти уравнения выглядят так:

$$\sum_{i=1}^n a_{ji}X_{ji} = P_j,$$

что означает: сумма произведений производительности каждого трактора, использованного на j -й работе, на число тракторов должна равняться заданному объему работы.

Вторую группу ограничений сразу запишем сокращенно, имея в виду, что N_i — количество находящихся в наличии тракторов марки i :

$$\sum_{j=1}^m X_{ji} \leq N_i$$

и тем самым в математической интерпретации представим тот очевидный факт, что сумма тракторов марки i , используемых на всех видах работ от 1 до j , не может превышать числа имеющихся в наличии тракторов этой марки.

ОПТИМАЛЬНЫЙ МАШИННЫЙ ПАРК

Любое предприятие создается, по крайней мере, дважды: сначала в расчетах, чертежах и схемах, а уже затем воочию — в строительном материале и оборудовании. А вот колхозы и совхозы, как показывает богатая практика, сплошь и рядом не проектируются заранее, хотя с давних пор существует порядок, требующий утверждения проекта и сметы даже при строительстве простого сарая. Но, оставив в стороне общую проблему проектирования сельскохозяй-

ственных предприятий, мы поведем здесь речь только о комплектовании машинно-тракторного парка, который сейчас формируется в хозяйствах в значительной мере стихийно.

Можно привести немало примеров, свидетельствующих о неблагополучии в этом деле, но ограничимся одним. По расчетам ученых, в среднем по стране на каждый рубль стоимости трактора должно приходиться на 2,6–3 рубля стоимости сопутствующих машин, агрегатов, орудий – так называемого шлейфа техники, а фактически их всего на 1,3 рубля, то есть в два раза меньше. Во многих хозяйствах не хватает плугов, борон, луцильников, культиваторов и прочих крайне нужных орудий. А ведь наша страна уже долгие годы занимает первое место в мире по производству тракторов, комбайнов и другого сельскохозяйственного оснащения. Отсутствие полного шлейфа машин не дает возможности сельским труженикам в полную меру использовать тот мощный и дорогостоящий тракторный парк, которым они сейчас располагают. Вместе с тем при общей нехватке прицепного и навесного инвентаря почти в любом хозяйстве обнаруживаются впустую простаивающие машины, приобретенные, что называется, на авось. Промахи в обеспечении колхозов и совхозов необходимой техникой напрямую связаны с ошибками в планировании ее выпуска и распределения.

Говоря о причинах, которые раньше мешали решать проблему проектирования механизации в колхозах и совхозах, следует сослаться на то, что долгое время промышленность была не в состоянии обеспечить сельское хозяйство техникой, поэтому реализация таких проектов была

бы невозможной. Кроме того, до недавнего времени планы производства сельхозпродукции, которые доводились до хозяйств, были нестабильны и часто менялись, а ведь технику нужно подбирать под определенную структуру посевов. Но сейчас эти препятствия преодолены. Промышленность в состоянии полностью обеспечить сельское хозяйство необходимыми машинами, колхозам и совхозам устанавливаются стабильные планы производства продукции на несколько лет вперед, а вошедшая в научно-практический обиход вычислительная техника позволяет справиться со сложностями проектирования механизации аграрных отраслей. О применении компьютеров для определения оптимального необходимого хозяйству набора машин мы сейчас и расскажем.

Полный объем работ, определяемый структурой посевов и принятой в хозяйстве технологией их возделывания, может быть выполнен парком машин различного состава, но и затраты в каждом случае будут разными. Между тем, для любого конкретного хозяйства существует только один набор машин, который обеспечивает выполнение всех работ в срок при минимальных издержках производства. Этот набор называют *оптимальным машинно-тракторным парком*.

Следует прямо сказать, что определение оптимального парка — задача, которую можно решить только с привлечением соответствующих вычислительных средств. Действительно, перечень машин и приспособлений, которые поставляются сельскому хозяйству, насчитывает более двух тысяч наименований, и специалисту просто невозможно запомнить их назначение и техно-

логические особенности. Да ведь и в любом колхозе, совхозе в течение года производится не два вида работ, которые мы привели в недавнем примере, а 200–300. И связаны эти работы и техника весьма сложными зависимостями. Машины должны быть технологически согласованными друг с другом, необходимо сбалансировать и время их использования в течение года. Короче говоря, определение оптимального парка для хозяйства требует таких сложных расчетов, которые под силу только компьютеру.

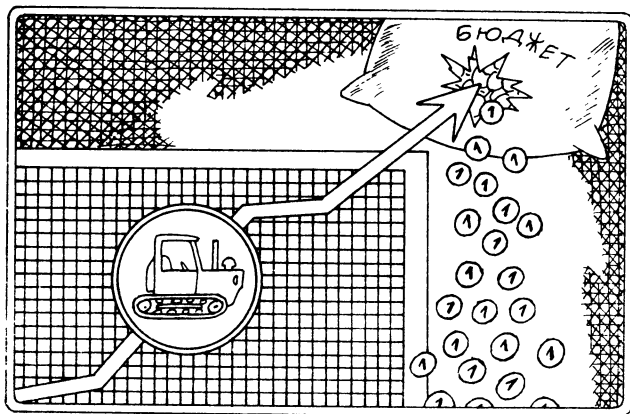
Сложность и остроту рассматриваемой проблемы ученые предвидели довольно давно. Еще в самом начале 60-х годов группы специалистов Сибирского филиала ВИМ в составе П. В. Пушкаревой, П. С. Щеглова, Л. Ф. Шкредовой и автора этой книги и сотрудников института математики Сибирского отделения АН СССР Л. В. Канторовича, Т. Т. Орловой, В. А. Булавского разработали математическую модель и комплекс программ для ЭВМ, которые позволяли определять оптимальный машинный парк хозяйства. Тогда же были сделаны пробные расчеты, подтвердившие работоспособность модели и программ.

Для построения модели использовался метод линейного программирования, но в отличие от нашего простенького примера, продемонстрированного на предыдущих страницах, уравнений и неравенств потребовалось не пять, а около двух тысяч. Модель зафиксировала весь комплекс работ, сроки их выполнения в хозяйстве и всю номенклатуру машин, выпускаемых промышленностью. Здесь также нашли отражение технологические связи между машинами и конкретными технологическими операция-

ми и многие другие факторы, влияющие на формирование машинного парка.

Можно быть уверенным, что, рассчитывая оптимальный парк, компьютер полностью учтет комплекс реальных взаимосвязей, не упустит из вида ни одну работу, которая предусмотрена технологией, ни одну машину, предлагаемую промышленностью, и включит в парк только те, которые действительно нужны хозяйству. Опыт показывает, что оптимальный машинный парк позволяет сократить на 20–30 процентов затраты на производство продукции, улучшить планирование выпуска машин и снабжение ими колхозов и совхозов. Только при оптимальном наборе машин можно реализовать в сельском хозяйстве передовые интенсивные и индустриальные технологии.

Хотя уже три десятка лет назад расчеты оптимального парка были произведены для многих сотен хозяйств, ставить тогда вопрос о

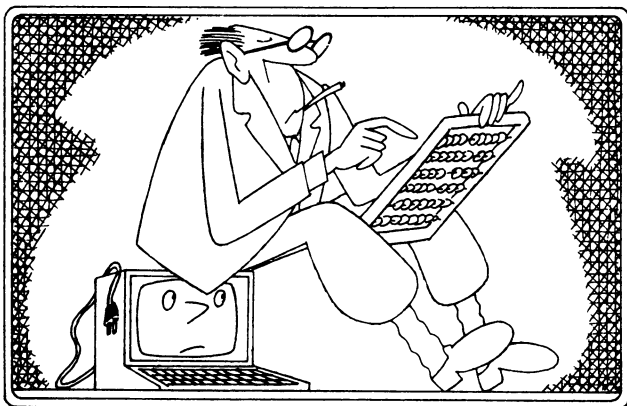


расчете на ЭВМ оптимального парка для всех 50 тысяч колхозов и совхозов было преждевременно. ЭВМ в стране было мало, в сельском хозяйстве — единицы. Кроме того, на первых порах низка была автоматизация процессов подготовки данных, самих расчетов и оформления результатов. Словом, история развития методов оптимизации структуры машинно-тракторного парка колхозов и совхозов растянулась на десятилетия.

С тех пор сменились три поколения компьютеров, значительно усовершенствовалась технология вычислений. Теперь расчет оптимального парка полностью автоматизирован и занимает всего около получаса. За прошедшие годы в сельском хозяйстве организовано более 100 областных и республиканских вычислительных центров, оснащенных современными мощными компьютерами и обеспеченных высококвалифицированными специалистами. Таким образом, сейчас сложились все условия для того, чтобы планирование производства и распределения сельскохозяйственной техники поставить на строгую научную основу.

Математическая модель оптимального машинно-тракторного парка, разработанная учеными, оказалась универсальным инструментом для решения разнообразных задач, связанных с определением технической политики в области механизации сельского хозяйства, и в первую очередь нашла широкое применение в планировании поставок новой техники колхозам и совхозам.

На практике потребность хозяйства в новых машинах оформляется в виде ежегодной заявки. В начале года в колхозы и совхозы направлял



ся бланки заявок – так называемые номенклатурные тетради, в которых указаны марки машин, выпускаемых промышленностью, их цена и некоторые другие показатели. Специалисты хозяйств должны возле каждого наименования указать количество машин, которое хозяйство хотело бы приобрести. Но мы уже говорили о том, каких сложных расчетов, каких затрат времени и труда стоит определить потребность хозяйства в технике, и вряд ли это по силам и без того перегруженным текущей работой специалистам колхозов и совхозов. Промехи в оснащении сельского хозяйства техникой во многом объясняются низким качеством заявок.

Сейчас имеется возможность изменить порядок планирования поставок техники и ее заказа хозяйствами. Подготовку ежегодных заявок на новые машины и распределение фондов на них следует возложить на областные спе-

специализированные вычислительные центры, которые вместо чистых бланков на технику будут направлять в колхозы и совхозы для согласования научно обоснованный, рассчитанный точными методами на компьютере проект такой заявки. Сельским специалистам уже не нужно будет ломать голову над заполнением бесчисленных строк и граф в номенклатурных тетрадях, а останется только проверить заявку, подготовленную компьютером. Для облегчения такой проверки компьютер вместе с заявкой выдаст хозяйству подробный план производства всех механизированных работ и график соответствующего использования каждой машины с необходимыми орудиями в течение года. По этим документам специалисты хозяйства могут проверить правильность расчетов и рекомендации, при необходимости поправить что-либо и направить принятые или откорректированные заявки обратно в вычислительный центр, где все сведения сводятся по фондодержателям и передаются в республиканские органы.

После выделения области фондов на новую технику компьютер производит их распределение по хозяйствам в соответствии с их заявками, с учетом уровня их технического оснащения, финансовых возможностей, то есть оптимальным образом. Помимо точности расчета, рассмотренная система заказа и распределения техники обеспечивает большую экономию труда специалистов хозяйств, районных и областных органов, поскольку их задача сводится лишь к проверке и анализу готовых документов, подготовленных компьютером. И надо сказать, что подобные системы уже много лет достаточно успешно действуют во Владимирской. Горьков-

ской, Новосибирской и целом ряде других областей.

Расчет оптимального парка, как уже вкратце отмечалось, основывается на использовании огромного числа данных о наличии техники в хозяйствах, технико-экономических показателях машин, технологии возделывания и уборки разных культур, структуре посевов и т. д. Методы линейного программирования, которыми производится расчет потребности хозяйства в технике, не предъявляют более высоких требований к точности и полноте исходной информации, чем обычное планирование, но, чтобы использование компьютера было эффективным, информация должна быть систематизирована и организована надлежащим образом.

Информационная база организуется в виде отдельных массивов – справочников, которые заранее готовятся в централизованном порядке. Например, справочники «Технико-экономические характеристики машин», «Технико-экономические характеристики машинно-тракторных агрегатов» и некоторые другие подготавливаются на союзном уровне, а справочник «Технология возделывания сельскохозяйственных культур» – зональными институтами. Подобные массивы содержат так называемую условно-постоянную информацию, которая используется вычислительным центром довольно длительное время и в которую только по мере необходимости вносятся коррективы. Текущая же информация должна обновляться при каждом расчете, ежегодно. А после создания информационной базы все расчеты заявок на технику для колхозов и совхозов выполняются автоматически, уже без вмешательства человека.

Внедрение автоматизированной системы подготовки заявок и распределения фондов на машины приводит к упорядочению снабжения колхозов и совхозов техникой и обеспечивает создание в сельском хозяйстве оптимальной структуры технического арсенала.

Речь до сих пор шла о применении математических методов и компьютеров при существующем порядке снабжения колхозов и совхозов техникой. В ближайшие годы намечен переход к свободной торговле машинами в условиях полной хозяйственной самостоятельности сельскохозяйственных предприятий, к которым можно причислить арендные и подрядные коллективы, кооперативы, а также крестьянские хозяйства.

Но свободный рынок – не хаос и не стихия, он не может быть эффективным без надежных прогнозов и обоснованных планов, а ведение самостоятельного хозяйства тем более диктует необходимость точного расчета каждого принятого шага. Здесь уместно сослаться на поистине тотальную компьютеризацию всех отраслей производства и торговли в развитых капиталистических странах, в том числе фермерских хозяйств и обслуживающих их фирм.

Поэтому методы оптимизации технического арсенала и соответствующие вычислительные устройства, позволяющие скрупулезно учитывать потребности хозяйств в машинах и оценивать возможности их приобретения, разумеется, будут использоваться и в новых экономических условиях сельскохозяйственного производства.

СИСТЕМА МАШИН

Подготовка ежегодных заявок на новую технику и распределение фондов на нее – не единственные задачи, где несомненную пользу могут принести методы оптимизации и использование современных средств вычислительной техники. Мы уже упоминали о том, что при расчете машинного парка компьютер вместе с заявкой выдает оптимальные планы производства сельскохозяйственных работ и график использования в течение года каждой машины. Этот план послужит основным диспетчерским документом при организации работ в хозяйстве, а график поможет рационально спланировать ее ремонт и обслуживание техники.

Но метод расчета оптимального парка может быть применен также для технико-экономического обоснования разработки и постановки на производство новых образцов сельскохозяйственной техники.

Развитие механизации сельского хозяйства в нашей стране уже более 30 лет осуществляется в соответствии с Системой машин, которая разрабатывается и утверждается на каждую очередную пятилетку. Необходимость в такой системе возникла в связи с переходом от механизации отдельных трудоемких процессов и операций к комплексной механизации сельскохозяйственного производства. Система машин на текущую пятилетку включает более 4000 наименований различных технических средств для возделывания, уборки и послеуборочной переработки около 300 культур в 20 природно-экономических зонах страны и получения всех видов животноводческой продукции. Система машин имеет

силу закона – не разрешается проектирование и выпуск новой машины, если она не включена в Систему машин.

Организирующая роль Системы машин в развитии механизации сельского хозяйства бесспорна, но методология ее разработки нуждается в улучшении. Целесообразность создания и производства каждой новой машины должна подтверждаться глубокими технико-экономическими расчетами, чтобы полностью исключить возможность ошибочных решений.

Методически разработка Системы машин должна основываться на достижении оптимальной структуры машинно-тракторного парка. В каждой природной зоне выбирают определенное число модельных хозяйств, где условия сельскохозяйственного производства считаются типичными. Для этих хозяйств и рассчитывают оптимальный машинный парк, причем имеют в виду не только машины, поставляемые промышленностью, но и те, целесообразность создания которых нужно проверить. Если компьютер включит в оптимальный парк новую машину, значит, ее выпуск оправдан и она должна войти в Систему машин, если нет, то проектирование и изготовление такой машины нецелесообразно.

Теперь несколько слов о выборе критериев оптимальности при расчете машинно-тракторного парка. Они могут быть разными в зависимости от назначения расчета. Универсальным критерием эффективности любых капиталовложений, в том числе и в механизацию сельского хозяйства, служит показатель приведенных затрат. Формула этого критерия представляет собой сумму двух слагаемых: прямых затрат на

производство продукции (или работы) и капиталовложений. Причем суммируется только часть капитальных затрат, отнесенных к одному году, поскольку произведенные капиталовложения (например, в машины) окупаются в течение нескольких лет.

При расчете оптимального парка иногда приходится использовать в качестве критерия затраты только на эксплуатацию техники, а ее стоимость в расчет не принимать или, наоборот, брать за критерий стоимость машин и полагать оптимальным самый дешевый парк. Очень часто в условиях дефицита механизаторских кадров возникает задача скомплектовать в хозяйстве такой парк, чтобы для работы на машинах требовалась минимальная численность персонала. Это и будет в данном случае критерием оптимальности. Математическая модель оптимального парка, о которой мы рассказали, позволяет использовать любой из этих и некоторые другие критерии, то есть модель универсальна и гибка, давая возможность решать задачи, в которых требуется учитывать самые разнообразные условия.

В серьезном обосновании нуждается не только набор машин, необходимых хозяйству, но и система их обслуживания и ремонта. Вопрос о том, какова должна быть система технического сервиса, отнюдь не праздный, поскольку ее стоимость исчисляется десятками миллиардов рублей. Тут, как говорится, возможны варианты. Вот, скажем, самые очевидные из них. Можно задаться целью максимальной экономии на техническом сервисе, но тогда машины будут часто и подолгу стоять в ожидании ремонта и обслуживания, и для компенсации их простоев

хозяйству придется приобретать дополнительную технику. Можно, напротив, неоправданно раздуть ремонтную базу, простой техники при этом, конечно, уменьшатся, однако возросшая выработка машин уже не компенсирует затрат на их ремонт и обслуживание. Как и в других проблемах подобного рода, решение должно носить компромиссный характер.

Задачи, связанные с оптимизацией системы технического сервиса, дают повод познакомить читателя с очень интересной и полезной математической дисциплиной – *теорией очередей*, которая наряду с линейным программированием находит широкое применение для решения многих практических проблем.

Глава 5 ПАРАДОКСЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

Из наблюдений устанавливать теорию, через теорию исправлять наблюдения есть лучший всех способ к изысканию правды.

М. В. Ломоносов

Большинство фундаментальных научных идей в сущности просты и могут быть выражены понятным каждому языком.

А. Эйнштейн

ТЕОРИЯ ОЧЕРЕДЕЙ

Итак, мало того, что в своей повседневной жизни мы прекрасно знакомы с практикой очередей, есть, оказывается, даже соответствующая теория. Кстати, очереди, как мы уже намекали в предыдущей главе, характерны и для производственной сферы, в том числе для сельского хозяйства, где подобное явление наиболее заметно, пожалуй, в области технического сервиса.

Ведь организация современного сельскохозяйственного производства – это во многом организация работы машин. Но машины не только служат людям, а и сами нуждаются в постоянном и весьма разнообразном обслуживании. Это, скажем, регулировка узлов и агрегатов, заправка топливом, смазка, ремонт или

загрузка сеялок семенами и освобождение бункеров комбайнов от собранной продукции.

Если же отвлечься от конкретного вида обслуживания и рассмотреть функционирование сервисной системы в целом, то дело можно представить следующим образом: действующий парк машин порождает поток заявок на его обслуживание, для чего имеется некоторое число специально оснащенных рабочих мест – их называют *обслуживающими каналами*. При поступлении очередной заявки на обслуживание может возникнуть одна из двух ситуаций: 1) по крайней мере, один канал свободен, и машину сразу принимают на обслуживание; 2) все каналы обслуживающей системы заняты ранее поступившими машинами, и вновь прибывшая машина должна подождать своей очереди. Следовательно, в общем случае простой t машины на обслуживании складывается из двух частей: времени ожидания $t_{ож}$ в очереди и продолжительности θ операций непосредственно обслуживания, то есть $t = t_{ож} + \theta$.

Это суммарное время зависит от интенсивности потока заявок, быстроты обслуживания, числа каналов в обслуживающей системе и порядка в очереди.

Собственно, в том же самом мы чуть ли не ежедневно убеждаемся, имея дело с другой сферой обслуживания – бытовой. А посему, чтобы сделать наши рассуждения более наглядными, сошлемся, ну скажем, на пример работы парикмахерской. Направляясь туда, следует быть готовым оказаться в одной из двух возможных ситуаций. Может случиться так, что, по крайней мере, одно из парикмахерских кресел будет свободным и мастер немедленно займется вами. Но

не исключено, что все кресла будут заняты и вам придется подождать своей очереди. Значит, продолжительность вашего пребывания в парикмахерской сложится из двух частей: времени ожидания в очереди и времени, которое затратит мастер на операции с вашей шевелюрой и лицом. Причем время, проведенное в кресле парикмахера, можно считать потраченным с пользой, чего нельзя сказать о времени, потерянном в очереди. Поэтому здесь нас интересует прежде всего оно.

Длина очереди в парикмахерской и время нахождения в ней клиента зависят от наплыва посетителей (от интенсивности их потока), от быстроты работы мастеров (пропускной способности каждого) и от количества рабочих мест в парикмахерской (числа каналов). Это все очевидно. Время ожидания зависит также от порядка в очереди. Режим в ней бывает разным. Например, некоторые клиенты могут иметь приоритет и обслуживаться вне общей очереди. Кстати, если таких людей несколько, то из них возникает уже другая—льготная—очередь. А кто-то, видя длинную очередь, отказывается от своего намерения и покидает парикмахерскую необслуженным. Словом, вариантов режима образования очереди довольно много, но все их должна учитывать теория, о которой мы собираемся рассказать. Однако о теории чуть позже.

Все мы довольно часто сетуем на длинные очереди в магазинах, у железнодорожных касс, в поликлиниках и многих других учреждениях. Но и машины, умей они говорить, могли бы пожаловаться на то же самое. Ведь основные потери их рабочего времени сплошь и рядом

приходятся на простои, связанные с ожиданием в очередях технического или технологического обслуживания. Они ждут, когда прибудет диагностическая установка, передвижная ремонтная мастерская, освободится место на станции техобслуживания или когда доставят необходимые запчасти. Комбайны с полным бункером ожидают автомобиль или тракторную тележку, чтобы выгрузить зерно, сеялки – подвоза семян и т. д. Вывод однозначен: сокращение до минимума простоев машин – это прежде всего уменьшение очередей в системе технического сервиса.

Почему же возникают очереди? Видимо, потому, что пропускная способность той или иной системы обслуживания недостаточна, чтобы без задержки обслужить поток клиентов.

Вот еще пример. Положим, у бензоколонки регулярно каждые пять минут появляется машина, а ее заправка занимает шесть минут. За час к колонке подойдут двенадцать машин, а заправятся только десять. Ясно, что у колонки возникнет очередь, причем теоретически она будет расти беспредельно.

Эта задачка словно бы из учебника арифметики – о резервуаре с двумя трубами: по одной вода (клиенты) поступает в резервуар, по второй – вытекает. Если диаметр первой трубы больше диаметра второй, то бассейн (очередь) начнет наполняться и через определенное время вода польется через край. При чрезмерно большой очереди мы тоже машем рукой и уходим (как вода, через край бассейна).

Однако имеется и существенная разница. Очередь у заправочной колонки может возникнуть даже в том случае, если мы поменяем исходные данные и примем, что машины под-



ходят к колонке с промежутком в 6 минут, а заправка каждой из них занимает 5 минут, то есть в течение часа колонка занята полезной работой всего 50 минут, а 10 минут она простаивает. Но это в «идеальных» условиях школьной

задачи, предусматривающих равномерное поступление и отток воды, а в реальных условиях обслуживания и поток клиентов, и продолжительность их обслуживания подвержены значительным случайным колебаниям. Периоды, когда обслуживающий персонал простаивает, ожидая клиентов, сменяются периодами их наплыва, а значит, сопровождаются неизбежной очередью.

Наука, конечно, не могла обойти вниманием такое распространенное явление, как очереди, и попыталась его теоретически осмыслить. Постепенно сложилась целая прикладная математическая дисциплина – *теория массового обслуживания*, или *теория очередей*, которая дает методы анализа и расчета систем, занятых разного вида обслуживанием клиентов. К подобным системам относятся торговля, общественное питание, транспорт, технический сервис и другие. Эта теория рассматривает процесс образования очереди в зависимости от ряда факторов (интенсивность потока заявок на обслуживание, пропускная способность обслуживающих каналов, их число и пр.).

Основоположником теории массового обслуживания считается датский математик А. К. Эрланг. В 1909 году он опубликовал работу «Теория вероятностей и телефонные разговоры», в которой привел формулы для определения среднего времени ожидания при вызове абонента в зависимости от средней продолжительности разговоров по телефону, числа каналов телефонной станции и средней частоты вызовов. Формулы Эрланга и сейчас используются при проектировании телефонных станций и линий, но возможности их применения оказались зна-

чительно шире. Идеи и математический аппарат теории очередей помогают находить оптимальные решения и при организации технического сервиса.

Характерная особенность явлений, с которыми имеет дело теория очередей, заключается в том, что большую роль здесь играет случайность. Ведь, например, персонал, связанный с эксплуатацией техники, не может дать однозначный ответ на такие, казалось бы, естественные вопросы: сколько машин завтра потребует ремонта, какое это займет время, какие запасные части понадобятся и т. д. Случайность, нерегулярность, непредсказуемость накладывают отпечаток на организацию всех элементов системы технического сервиса.

Случайные потоки массовых однородных событий, а к ним и относится поток клиентов в любую систему их обслуживания, давно служат объектом изучения теории вероятностей, которая позволяет обнаруживать порядок в явлениях, вроде бы лишенных всякого порядка. Поэтому теория очередей и оказывается разделом теории вероятностей.

Случайные колебания промежутков времени между поступлением очередных клиентов и колебания продолжительности обслуживания каждого приводят к тому, что в системе то образуется очередь из клиентов, то она простаивает из-за их отсутствия. Поэтому любая система обслуживания должна располагать резервом пропускной способности, чтобы иметь возможность успешно справляться со случайными перегрузками. Теория очередей как раз и позволяет определить оптимальное соотношение затрат на создание резерва пропускной способности такой

системы и ущерба, связанного с потерями времени в очереди на обслуживание.

До сих пор мы старались подчеркнуть универсальность теории очередей, применимость ее идей и методов практически для исследования любых систем массового обслуживания – торгового, бытового, медицинского, транспортного, систем связи и т. д. Но в дальнейшем для определенности мы ограничимся иллюстрацией использования теории очередей для оптимизации системы аварийного обслуживания машинно-тракторного парка. Правда, прежде нам придется бегло ознакомить читателя с очень важной научной дисциплиной – с теорией надежности, о которой, кстати, мы уже упоминали.

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

Повседневная жизнь и деятельность современного человека во многом зависят от безотказной работы машин, но, увы, наши железные помощники обладают тем неприятным свойством, что время от времени ломаются и ставят нас в затруднительное положение, а порой и угрожают нашей безопасности. Дело усугубляется и тем, что поломки в машинах возникают внезапно, вдруг, как говорится, неожиданно-негаданно.

Склонность машин ломаться тесно связана с понятием их надежности. А вообще-то словом «надежность» мы широко пользуемся в повседневной жизни и хорошо его понимаем. Например, называя кого-то надежным другом, мы имеем в виду, что он нас никогда, ни при каких обстоятельствах не подведет. То же в каком-то смысле и с машинами. Здесь надежность харак-



теризует безотказность техники при выполнении свойственной ей работы, а заодно и степень нашего доверия ей. Но в науке понятию «надежность» обычно придается более узкий смысл, связанный со способностью машины работать определенный срок без поломок. Чем дольше может исправно работать машина, тем выше ее надежность. Собственно говоря, применительно к нашей теме теория надежности и подсказывает нам, как предугадать поломки в машинах, как лучше бороться с этим злом.

Вероятность появления неисправностей у различных машин неодинакова: те ломаются чаще, иные – реже. Один из показателей надежности так и называется: «средняя наработка машины на отказ». Этот показатель оценивается средним временем, которое машина исправно работает от одной поломки до другой. Его определяют при государственных испытаниях – перед принятием решения о постановке новой

машины на производство, а также при контрольных испытаниях серийно выпускаемой техники. Методика такова. Организуют наблюдение в течение заданного числа t часов за работой некоторого количества N одноименных машин. За это время в машинах произойдет n поломок, именуемых в теории надежности отказами. Тогда средняя выработка на отказ выразится простой формулой

$$\tau = \frac{Nt}{n}.$$

Протоколы ежегодных контрольных испытаний сельскохозяйственной техники, к сожалению, свидетельствуют о низкой надежности многих наших машин. Так, трактор работает от одной поломки до другой всего около 100 часов, а комбайн и того меньше — 10–12 часов.

Здесь, естественно, может возникнуть вопрос: а какой надежностью должны обладать машины? Чтобы ответить на него, нам понадобится ввести еще один показатель надежности. Снова организуем в течение t часов наблюдение за работой N машин и подсчитаем те, которые за это время вышли из строя. Пусть таких окажется m штук. Тогда отношение числа машин, исправно проработавших установленный срок t , ко всему их количеству

$$P(t) = \frac{N - m}{N}$$

будет характеризовать вероятность того, что машины данного вида могут проработать t часов без поломок. Очевидно, данную вероятность можно принять в качестве оценки нашего

доверия к машине. О надежности часто так и говорят, что это вероятность исправной работы машины в течение установленного времени в заданных условиях.

Вероятность исправной работы машины зависит от продолжительности времени, в течение которого, как мы рассчитываем, машина не будет иметь аварий. Очевидно, чем меньше это время, тем больше вероятность, что машина нас не подведет. В теории надежности имеется формула, которая связывает продолжительность времени t , вероятность $P(t)$ безотказной работы машины и ее среднюю наработку на отказ τ :

$$P(t) = e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

Хотя мы стараемся не перегружать нашу книжку математическими выкладками, но эта самая популярная формула теории надежности стоит того, чтобы привести ее здесь. Ведь она сразу позволяет оценить, хороша или нет надежность наших тракторов, комбайнов и других машин.

Читатель, видимо, наслышан, что уже многие десятки лет в сельском хозяйстве внедряется, правда, без особого успеха, так называемая планово-предупредительная система технического обслуживания машин. Например, она предусматривает, чтобы через 60, 240 и 960 часов работы трактор получал соответствующее техническое обслуживание. По сравнительно недавно принятому стандарту эта периодичность для новых тракторов увеличена до 125, 500, 1000 часов. Назвав систему предупредительной, ее авторы, очевидно, полагали, что в промежутках между профилактическим обслуживанием ма-

шина будет действовать без всяческих отказов. А как обстоит дело в жизни? Воспользуемся приведенной формулой и определим вероятность исправной работы трактора между двумя плановыми обслуживаниями ($t = 60$ часов), учитывая, что тракторы терпят аварию в среднем каждые 100 часов:

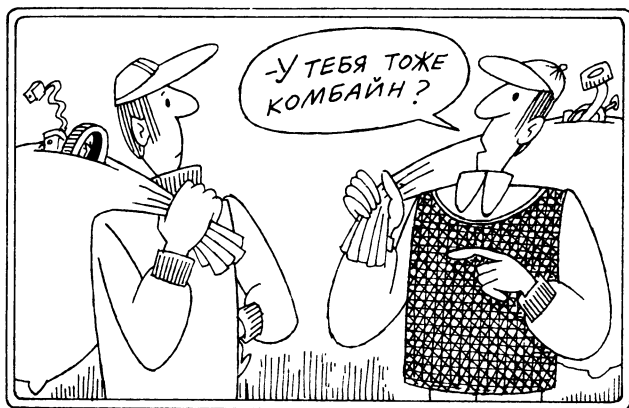
$$P_{(60)} = e^{-\frac{60}{100}} = 0,55.$$

Таким образом, из каждой сотни только 55 тракторов способны исправно проработать от одного профилактического обслуживания до другого, а 45 из них за это время выйдут из строя.

Но как можно планировать и проводить профилактическое обслуживание, если в промежутке между ними терпит в поле аварию почти половина тракторов?! Новая же периодичность обслуживания еще более ухудшит результаты. При такой надежности вести речь о планировании профилактики не имеет смысла.

Пожалуй, во многом именно этим и объясняются трудности внедрения принятой планово-предупредительной системы обслуживания. Учитывая реальную надежность наших тракторов, видимо, целесообразно установить два вида их обслуживания: 1) ежесменное, при котором тракторист тщательно осматривает свою машину перед началом или после окончания работы и устраняет все выявленные неполадки, и 2) во время ремонта после очередной аварии.

Наша формула показывает, что и надежность комбайнов крайне низка: в течение рабочего дня на поле почти в каждом из них происходят одна-две поломки.



Какой же надежностью должен обладать трактор, чтобы для его обслуживания можно было организовать подлинную планово-предупредительную систему? И на этот вопрос позволяет ответить все та же формула. Путем несложного преобразования ее можно представить в таком виде:

$$\tau = \frac{t}{-\ln P}.$$

Теперь, задаваясь приемлемой вероятностью безотказной работы трактора P в течение установленного времени t , можно определить среднюю приемлемую его наработку на отказ. О планово-предупредительной системе обслуживания резонно вести речь, когда рассматриваемый показатель поднимется со 100 до 550 часов. По той же формуле рассчитываются нормативы надежности комбайнов и других самоходных машин. Для прицепных и навесных орудий ана-

логичная формула немного сложнее, и ее мы приводить здесь не будем.

Обеспечение надежности техники – сложная, комплексная проблема, решение которой надо искать и в конструкторском бюро, и в цехах заводов, и при эксплуатации машин. Соответствующий же научный арсенал – теория надежности – позволяет дать ответ на многие вопросы, поднимаемые практикой.

Заканчивая наш краткий рассказ о надежности, упомянем еще об одном ее важном показателе, который нам понадобится в дальнейшем. Обратная величина средней наработки машины на отказ $\lambda = 1/\tau$ носит название *интенсивности отказов* и выражает среднее число отказов машины в единицу времени. Так, для трактора эта величина равна $\lambda = 1/100 = 0,01$ отказа в час. Интенсивность отказов λ определяет нагрузку, создаваемую одной машиной на ремонтную службу. Понятно, что численность N однородных машин обусловит пропорционально большую нагрузку, то есть $N\lambda$. Если же парк состоит из машин разной надежности, то интенсивности их отказов можно складывать, вычисляя таким образом общую нагрузку на ремонтную службу всего машинного парка.

А сейчас обратимся к парадоксам технического сервиса, рассказать о которых обязывает нас название этой главы.

ПАРАДОКС ПЕРВЫЙ

Вот еще одна задачка. Имеется бригадный пункт технического обслуживания, на который в течение рабочего дня поступают в среднем 3

трактора. Ремонт и профилактика одного трактора занимают в среднем 2 часа. Что можно сказать об эффективности работы этого пункта?

Определим его загрузку. Она составляет: $2 \cdot 3 = 6$ часов в день, а значит, пункт загружен не полностью, если иметь в виду 8-часовой рабочий день. Казалось бы, пропускная способность пункта не должна нас беспокоить.

Но ведь тракторы на пункт прибывают не по графику, строго равномерно, а в случайные моменты времени. Может произойти, что в момент прихода очередного трактора пункт будет занят другим, ранее поступившим. Мы сказали, что в среднем за день на пункт прибывают 3 трактора, однако это не исключает возможности нагрузки в четыре и пять тракторов, как и вероятности таких дней, когда для ремонта и обслуживания на пункт придут всего по два трактора или даже не поступит ни одного.

Дело усугубляется еще и тем, что продолжительность нахождения трактора на пункте также подвержена случайным колебаниям: иногда ремонт может потребовать всего несколько минут, а в другой раз он займет целую рабочую смену.

Очевидно, в этих условиях, несмотря на кажущуюся неполную загруженность пункта, возможны очереди из ожидающих помощи тракторов, а значит, и соответствующие потери времени. Средняя продолжительность ремонта и обслуживания трактора составит не 2 часа, как мы полагали, а $2 + t_{ож}$, где $t_{ож}$ — среднее время, которое трактор проводит в очереди у ворот пункта.

Теория очередей дает простую формулу для оценки среднего времени ожидания в очереди

$$t_{\text{ож}} = \frac{\lambda \theta^2}{1 - \lambda \theta}.$$

Если часовая интенсивность поступления тракторов на пункт в нашем случае $\lambda = 3/8 = 0,37$, а $\theta = 2$ – средняя продолжительность ремонта или обслуживания каждого, то среднее время ожидания трактором начала ремонта составит

$$t_{\text{ож}} = \frac{0,37 \cdot 2^2}{1 - 0,37 \cdot 2} = 5,6 \text{ часа}.$$

Итак, несмотря на предполагаемую неполную загрузку пункта, поступающие на ремонт и обслуживание тракторы более половины рабочего дня будут ждать, пока пункт сможет ими заняться. Общее время такого ожидания для трех прибывающих ежедневно тракторов $3t_{\text{ож}} = 3 \cdot 5,6 = 16,8$ часа, или округленно 2 трактородня.

Эти расчеты приводят, казалось бы, к парадоксальному выводу. С одной стороны, поток тракторов на пункт и его пропускная способность, казалось бы, таковы, что пункт только 75 процентов времени загружен работой. С другой стороны, тракторы в среднем больше половины рабочего дня должны проводить в очереди на обслуживание.

Парадокс порожден случайностью – нерегулярным поступлением тракторов на пункт и колебаниями продолжительности их обслуживания. Конечно, наш пример очень упрощен и схематичен, но он оперирует реальными фактами и наглядно иллюстрирует эффект случай-

ности, с которым нельзя не считаться при организации технического сервиса.

Общий прием противоборства случайности – создание резервов производственных мощностей и запасов. Например, сократить простой тракторов в ожидании обслуживания мы могли бы, увеличив, скажем, штат слесарей на пункте. Теория очередей позволяет подойти к решению подобного вопроса обдуманно, с привлечением экономических критериев. Подсчитав потери времени на ожидание ремонта и зная ущерб от простоя трактора в течение часа, легко подсчитать ущерб, который несет хозяйство из-за недостаточной пропускной способности пункта. Так, если для нашей задачи принять ущерб от часового простоя трактора равным 5 рублям, то общие потери от простоя тракторов составят $5 \cdot 16,8 = 84$ рубля в день. Этой суммой мы вправе оперировать при разработке планов, сопоставляя ущерб от простоев техники с затратами на мероприятия по их сокращению.

ПАРАДОКС ВТОРОЙ

При организации системы технического сервиса довольно часто приходится решать такой вопрос: укомплектовать ли ее небольшим количеством высокопроизводительных, а значит, и более дорогих устройств или снабдить ее оборудованием «числом поболее, ценою подешевле». Например, что лучше: мощная, хорошо оснащенная центральная мастерская, которая может взять на себя обслуживание всего машинного парка хозяйства, или рассредоточенная по его территории сеть мелких пунктов технического обслуживания? Близкой будет и такая

задача: если на станции технического обслуживания работают, положим, четыре слесаря, то как успешнее организовать их работу? Ведь из них можно сформировать единую бригаду, чтобы все слесари одновременно отремонтировали одну машину, или две бригады, обслуживающие параллельно по машине, наконец, скажем, можно поручить каждому слесарю обслуживать одну машину, и тогда на станции сразу будут отремонтированы четыре машины. Какой вариант лучше?

Теория очередей позволяет ответить и на этот, и на многие другие вопросы, правда, расчетные формулы тут окажутся значительно сложнее приведенных ранее, и мы на них ссылаться не будем. Скажем только, что в целом подход к решению остается прежним. Общий простой машины на станции складывается, как известно, из двух частей: времени ожидания в очереди и продолжительности операций самого обслуживания. Причем наблюдается такая закономерность: чем больше слесарей в бригаде, то есть, чем меньше (при одной и той же численности персонала) самих бригад, тем дольше приходится машине ожидать, пока ею займутся. С другой стороны, как мы уже упоминали, продолжительность непосредственно обслуживания при увеличении бригады слесарей сокращается. Оптимальную же численность бригады устанавливают, сопоставляя затраты времени в очереди и собственно на обслуживание.

Здесь мы касаемся очень важной проблемы не только организации технического сервиса, но и любого производства вообще – проблемы обоснования оптимального уровня их концент-

рации. Еще совсем недавно ставка делалась на мощные ремонтные заводы или, скажем, крупные хлебозаготовительные пункты, животноводческие комплексы с многотысячным поголовьем, гигантские мясокомбинаты, то есть на концентрацию всего и вся. Действительно, концентрация производства обычно сопровождается улучшением его технического оснащения, сокращением капитальных затрат, более полным обеспечением квалифицированными кадрами. Однако с очевидностью выявилось, что во многих случаях такая излишне высокая концентрация оборачивается больше недостатками, чем преимуществами. Крупный ремонтный завод или, положим, мясокомбинат, удаленные к тому же от полей и ферм, не имеют тех возможностей оперативно реагировать на живые ритмы производственной жизни, какими располагает верно спланированная сеть мелких обслуживающих предприятий, отзывчивых к меняющимся реальным нуждам практики.

Применительно к нашей теме под словом «концентрация» подразумевают три основных вида объединения производственных мощностей в системе технического сервиса. Во-первых, такая концентрация может осуществляться в пределах одного предприятия путем укрупнения бригад, оснащения рабочих мест новейшим оборудованием, организации конвейерных линий, внедрения поточных технологий. Во-вторых, концентрацию удастся реализовать, заменив большое число мелких рассредоточенных предприятий одним крупным, которое берет на себя обязательства по обслуживанию техники всего региона. И наконец, третий вид концентрации предполагает централизацию управления пред-

приятными, распыленными по данной территории. Подход к обоснованию оптимального уровня концентрации для трех указанных видов объединения производственных мощностей различен, но научным фундаментом для этого служит все та же теория очередей, с которой мы немного познакомили читателя.

Заканчивая рассказ о концентрации производства вообще и технического сервиса, в частности, хотелось бы отметить, что концентрация требует повышенной организованности, четкости в работе. При недостаточной согласованности в действиях различных участков, неудовлетворительном обеспечении запасными частями, материалами и прочих подобных затруднениях предпочтение следует отдавать рассредоточенному производству, которое обладает большей устойчивостью против всевозможных сбоев и неполадок. Например, отсутствие нужной детали может полностью парализовать конвейер, а для рассредоточенного производства это не так уж страшно: остановка в ремонте одной машины не препятствует обслуживанию техники на других рабочих местах.

Вообще же парадокс концентрации, о котором шла у нас речь, можно считать мнимым, если к этому явлению подходить научно, внимательно его изучать, творчески осмысливать и делать верные выводы.

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

К системе технического обслуживания машинного парка предъявляются противоречивые требования. Так, с одной стороны, на эту си-

стему возлагается задача свести до минимума простой техники и обеспечить ее высокую работоспособность, а с другой – эксплуатационные затраты должны быть тоже минимальными. Значит, требуется найти разумный компромисс между потерями от простоев машин и затратами на содержание системы технического сервиса.

Путь к искомому компромиссу мы покажем на примере расчета оптимального числа передвижных мастерских, которые следует иметь хозяйству для обслуживания своего машинного парка. Но используемый метод носит общий характер и может быть применен, скажем, для обоснования оптимального числа автозаправщиков и транспортных средств для отвоза зерна от комбайнов, и для многих других расчетов элементов технического сервиса.

Итак, очередная задача. Условия ее следующие. Хозяйство имеет 100 тракторов, которые порождают поток требований на обслуживание с часовой частотой $\lambda = 1$. Обслуживание тракторов ведется передвижными мастерскими. Средняя продолжительность обслуживания трактора (с учетом времени, затрачиваемого мастерской на переезд) $\theta = 4$ часа. Примем, что ущерб от простоя трактора в течение часа $C_{пр} = 6$ рублей, а содержание C_m мастерской за то же время обходится вдвое дешевле.

Сначала подсчитаем необходимое число мастерских, не учитывая, что как сами требования на обслуживание, так и время переезда мастерской к тракторам и продолжительность обслуживания подвержены случайным колебаниям. Очевидно, по такому расчету хозяйству следует иметь 4 мастерские. За время, пока одна мас-



терская занята обслуживанием трактора (4 часа), мастерские потребуют еще 3 трактора.
 В действительности же 4 мастерские не справятся с обслуживанием данного парка – доста-

точно небольшого сбоя в очередности поступления машин на обслуживание или в сроках его проведения, как сразу неудержимо начнет расти очередь.

Сколько же мастерских нужно иметь хозяйству, чтобы машины долго не ждали обслуживания и чтобы расходы на содержание мастерских не были бы чрезмерными?

Для ответа на этот вопрос нужно сложить ущерб от простоя тракторов в ожидании $t_{ож}$ каждым обслуживанием и расходы на содержание мастерских при разном их числе M и найти минимум суммы, то есть решить уравнение

$$\lambda C_{пр} t_{ож} + C_m M = \text{минимум}.$$

Не приводя подробностей вычислений, сразу дадим готовые результаты.

Число мастерских	Часовые потери от простоя тракторов, руб.	Часовые затраты на содержание мастерских, руб.	Сумма часовых затрат и потерь, руб.
5	14,4	15	29,4
6	4,8	18	22,8
7	1,4	21	22,4
8	0,7	24	24,7

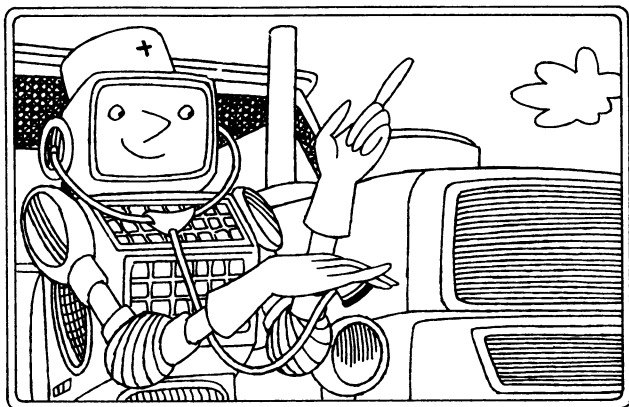
Как и следовало ожидать, с увеличением числа мастерских потери от простоя тракторов быстро уменьшаются, а затраты на содержание мастерских растут. Минимум же потерь и затрат приходится на варианты из 7 мастерских, и это их количество как раз и будет оптимальным для принятых условий.

ЕЩЕ ОДИН ПАРАДОКС

Исследование надежности сельскохозяйственной техники выявляет такую странность: машины, поломки в которых вызывают больший ущерб (мощные тракторы, комбайны, сепялки), обладают меньшей надежностью, то есть чаще выходят из строя, чем те, чьи отказы во время работы не связаны с серьезными последствиями. А нормативы надежности узаконивают это ненормальное положение. Так, норматив средней наработки на отказ маломощного трактора Т-16М равен 238 часам, мощному же трактору Т-150К разрешается терпеть аварию каждые 137 часов. Для зерноуборочного комбайна средняя наработка на отказ установлена 27 часов (фактически он ломается в два раза чаще), а ведь его выход из строя в поле приводит к сбою работы всего уборочно-транспортного конвейера, да и время на жатве дорого стоит.

Машины не только часто ломаются во время работы, но и подолгу простаивают после каждой аварии. Велики затраты труда, времени и средств на техническое обслуживание и ремонт техники. Во многом это объясняется конструктивными недостатками техники, плохим качеством ее изготовления. Причем и здесь наблюдается та же тенденция: чем мощнее и дороже машина, тем труднее ее ремонтировать и обслуживать.

Может показаться, что противоречия, о которых мы упомянули, естественны и неустранимы. В самом деле, чем сложнее машина, чем больше в ней деталей, тем ниже, видимо, ее надежность, тем чаще, казалось бы, она должна выходить из строя, тем труднее ее ремонт и



обслуживание. Но это не так. Широкое распространение микрокомпьютеров, их сравнительно невысокая стоимость позволяют автоматизировать многие процессы. Ведущие фирмы США, Японии, Англии, ФРГ, Франции и других стран выпускают тракторы, комбайны и иные сложные машины со встроенными в них микропроцессорами, которые автоматически контролируют состояние машины и помогают оператору поддерживать оптимальный рабочий режим. Применение микроЭВМ особенно эффективно именно на мощных дорожных машинах, составляя лишь считанные проценты их стоимости и не слишком удорожая технику. Микропроцессор на тракторе, автомобиле, комбайне управляет режимом работы двигателя, машины и агрегата в целом, оптимизирует все процессы, своевременно фиксирует неполадки, предотвращает развитие аварийных ситуаций и выполняет

многие другие функции, устраняя тем самым парадокс, о котором мы говорили.

У компьютеров большие перспективы применения в области технического сервиса. Практически беспредельная компьютерная память способна хранить исчерпывающую информацию о каждой машине, вести дотошный эксплуатационный учет, составлять и анализировать «истории болезни» взятых под надзор машин, выявлять их работоспособность, контролировать процесс износа, прогнозировать потребности в ремонте и обслуживании. Это позволит в значительной степени уменьшить роль случайности, которая и порождает, если вспомнить название этой главы, парадоксы технического сервиса.

Глава 6 КОМПЬЮТЕР ДЛЯ «АГРО» И «ЗОО»

*Великое есть дело – достигать
во глубину земную разумом, ку-
да рукам и оку достигнуть
взброняет натура.*

М. В. Ломоносов

*Трудности и темные места лю-
бой науки заметны лишь тем,
кто ею обладал. Ибо нужно
обладать некой степенью разу-
мения, чтобы заметить свое
невежество, и надо толкнуть
дверь, чтобы удостовериться,
что она заперта.*

Монтень

КОМПЬЮТЕР ПОМОГАЕТ АГРОНОМУ

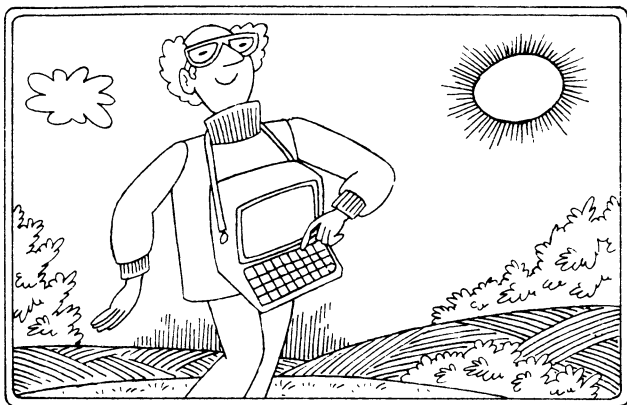
...**Оптимизировать структуру посевов.** Это одна из самых распространенных задач, с которыми сталкивается агроном в своей работе. Причем ошибки здесь обходятся очень дорого и несут с собой долговременные последствия, поскольку организация севооборота – дело ответственное, масштабное и рассчитанное не на один год. А вообще, в агрономической практике часто встречаются задачи, при решении которых трудно обойтись без всемогущего электронного помощника. Слишком много приходится учитывать факторов (а среди них есть случайные и быстро меняющиеся), чтобы уповать только на

собственное разумение и опыт. Это вещи, конечно, необходимые, но, увы, субъективные. Кроме того, агроному нередко приходится действовать в условиях жесткого дефицита времени, принимать срочные меры в зависимости от сложившейся обстановки. Ведь его рабочее место – открытое всем стихиям поле, которое диктует необходимость, как говорится, быстрого и действенного реагирования. В подобной ситуации именно от компьютера и можно ждать своевременной и всесторонне «обдуманной» подсказки.

Ну а теперь рассмотрим задачу, обозначенную в заглавии. Исходные данные таковы. Хозяйству, располагающему S гектарами пашни, установлен план продажи государству A тонн пшеницы, B тонн картофеля и C тонн овощей, а кроме того, ему необходимо произвести некоторое количество многолетних трав и корнеплодов для нужд собственного животноводства. Требуется все эти культуры наилучшим образом разместить на имеющейся земле, имея дополнительно в виду, что по конкретным условиям хозяйства зерновыми может быть занято не более 70 процентов общей площади, а пропашным должно быть отведено не менее S_1 гектаров.

Чтобы составить математическую модель ситуации, следует прежде всего ввести соответствующие обозначения: x_1 – площадь, занятая пшеницей, x_2 – картофелем, x_3 – овощами, x_4 – многолетними травами, x_5 – корнеплодами.

Мы уже говорили о том, что любая математическая модель содержит две группы уравнений и неравенств – ограничения и функцию цели. Начнем с составления ограничений. Первое из



них заключается в том, что площадь, занятая всеми ($n = 5$) культурами, не может быть больше площади пашни, которой располагает хозяйство, то есть

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \leq S,$$

или в сокращенной записи

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq S.$$

Два других дополнительных ограничения, проведенных в условиях задачи, математически выразятся так:

$$x_1 \leq 0,7S \text{ и } x_2 + x_3 + x_5 \geq S_1.$$

Обозначив a предполагаемую урожайность культур, а индексом снизу – вид каждой, сформулируем условие выполнения хозяйством плана продажи продукции государству:

$$a_1 x_1 \geq A; a_2 x_2 \geq B \text{ и } a_3 x_3 \geq C.$$

Заметим попутно, что, хотя реальные условия планирования заставляют принимать во внимание куда больше факторов, чем в нашем весьма упрощенном примере, все их, однако же, сравнительно легко можно записать в виде уравнений или неравенств. Любые конкретные обстоятельства и ситуации, характерные для данного хозяйства и для определенного периода времени, находят свое выражение в форме математических соотношений.

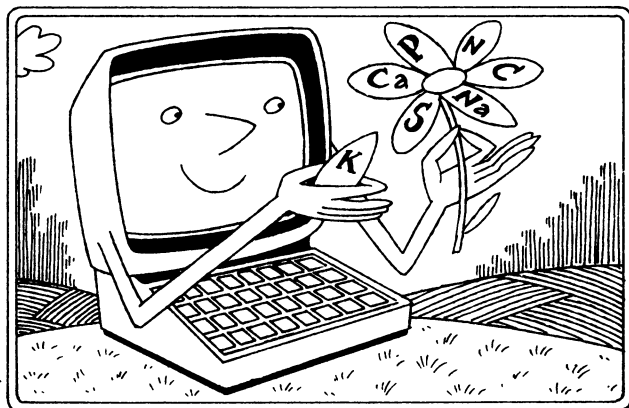
Сформулированные ограничения позволяют приблизиться к завершению модели, но прежде надо выбрать критерий оптимальности, а затем записать функцию цели. В нашей задаче в качестве критерия могут быть взяты разные показатели. Скажем, так разместить культуры, чтобы получить наибольший выход валовой продукции. Или задаться целью произвести продукцию с наименьшими затратами. Наконец, критерием оптимальной структуры посевов может служить максимум получаемой прибыли. Все диктуется конкретными обстоятельствами. Например, в условиях нехватки сельскохозяйственной продукции критерием оптимальности чаще всего служит ее объем: «продукцию – любой ценой». Но при хозрасчете возрастает именно роль прибыли как критерия эффективности. Приняв этот критерий и обозначив c_i прибыль с гектара, которую дает возделывание i -й культуры, выразим функцию цели

$c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4x_4 + c_5x_5 = \text{максимум}$,
или в краткой записи

$$\sum_{i=1}^n c_i x_i = \text{max}.$$

Эти уравнения и неравенства, как нетрудно заметить, имеют большое сходство с теми, которые использовались нами ранее в задаче о распределении тракторов по работам. В том-то и состоит важная особенность математических методов, что одна и та же модель способна описывать совершенно различные явления и для их исследования могут быть применены одни и те же алгоритмы и компьютерная программа. Поэтому при практическом использовании математических методов — об этом мы уже говорили — нет необходимости вникать в тонкости математики и программирования, а достаточно только подобрать соответствующую модель и стандартную программу и ввести в компьютер данные своей задачи, а он уже сам выполнит необходимые расчеты и выдаст готовое решение.

...Распределить удобрения по полям. И это одна из традиционных задач, с которыми имеет



дело агроном. Действительно, здесь приходится учитывать большое число конкретных обстоятельств. Достаточно широкая номенклатура удобрений, разнообразие почвенных и погодных условий, набор сельскохозяйственных культур, экономические и экологические ограничения и целый ряд других факторов предопределяют множественность вариантов. Словом, есть все резоны обратиться к помощи компьютера.

Как и в предыдущих случаях, мы укажем только подход к построению математической модели, упрощая задачу и пренебрегая подробностями.

Итак, хозяйство располагает Q тоннами удобрений, и их нужно оптимальным образом распределить между m культурами. Структура посевов известна. Поля, занятые разными культурами, различаются предшественниками, химическим составом почвы, засоренностью и другими показателями, от которых зависит эффективность действия удобрений. В качестве неизвестных x_i могут выступать дозы внесения удобрения на гектар под i -ю культуру.

Обозначим S_i площадь, занятую i -й культурой, и сформулируем первое ограничение: общее количество удобрений, внесенных под все культуры, не должно превышать запасы удобрений, имеющихся в хозяйстве:

$$\sum_{i=1}^m S_i x_i \leq Q.$$

Увеличивать дозу удобрений можно лишь до определенного предела. Примем максимальную дозу для i -й культуры равной A_i и напишем ограничения по этому показателю:

$$x_i \leq A_i.$$

Критерием оптимальности распределения удобрений по полям может служить прибавка урожая в стоимостном выражении от внесения удобрений или прибыль. Если обозначить c_i прибавку урожая (или прибыль) на гектаре, занятом i -й культурой, при внесении одного центнера удобрений, то целевая функция модели будет иметь вид

$$\sum c_i x_i S_i = \max.$$

Реальная модель распределения удобрений в хозяйстве, конечно, значительно сложнее, но подход к ее составлению в целом аналогичен изложенному.

Здесь уместно упомянуть о том, что основная сложность в использовании математических методов и компьютеров в сельском хозяйстве заключается не в трудности составления математических моделей для решения различных практических проблем, а в недостатке необходимых для моделирования данных. Подобное утверждение может показаться странным, если учитывать многовековой опыт этого вида деятельности и широкий размах исследований, которые ведутся в сотнях научных сельскохозяйственных учреждений, и тем не менее именно точных, количественных данных зачастую как раз и не хватает. Взять хотя бы нашу задачу о распределении удобрений. Если бы мы захотели ее решить для какого-то конкретного колхоза или совхоза, вряд ли сразу смогли это сделать, потому что в большинстве случаев не сумели бы получить данные об отзывчивости растений, возделываемых в хозяйстве, на разные дозы тех или иных удобрений в зависимости от состояния посевов, почвенных и погодных условий и т. п.

Но недостаток в полных и точных данных, разумеется, не может служить поводом для отказа от использования математических методов и компьютеров в сельском хозяйстве. Кстати, тут-то и станет ясно, каких именно сведений не хватает, что будет стимулировать их отбор и систематизацию.

...Мы рассмотрели только две практические задачи, в которых ЭВМ оказывает агроному существенную помощь. А в целом сфера приложения электронной техники в земледелии велика и разнообразна. Ну, например, компьютерные метеостанции, установленные на полях, сообщат агроному о состоянии посевов, почвы, приземного слоя воздуха, дадут прогноз погоды, а специальные контролирующие устройства сообщат, скажем, о возможном нашествии вредителей. Все большую помощь сельскому хозяйству оказывает космическая техника в содружестве с компьютерами. По обработанной и дешифрованной ЭВМ информации, полученной со спутников и орбитальных станций, можно судить о развитии растений, состоянии почвы, водных ресурсов, ходе атмосферных процессов, давать прогноз урожая. Так что теперь у агронома есть и надежные космические помощники.

КОМПЬЮТЕР ПОМОГАЕТ ЗООТЕХНИКУ

...Составить оптимальный рацион кормления животных. Эта сугубо практическая задача оказалась одной из первых, решенных методами линейного программирования. Набор кормов, которые получают животные, должен быть сбалансирован по всем питательным веществам, витаминам, минеральным добавкам и прочим

элементам, причем он зависит от вида животного, состояния его организма, пола, возраста, продуктивности и условий содержания. Из одних и тех же кормов можно составить много разных сбалансированных рационов, но их стоимость, а значит, и эффективность животноводства будут также разными. Кроме того, реальные условия хозяйства, наличие кормов, а вернее, отсутствие, дефицит тех или иных их видов накладывают свои очевидные ограничения. Задача состоит в том, чтобы определить оптимальный рацион для конкретного стада в практически создавшихся обстоятельствах.

Математическая модель для решения этой задачи довольно громоздка. В ней используются данные о наличии кормов в хозяйстве, содержание в них питательных веществ, структура стада в половозрастном отношении, физиологические потребности животных в каждом элементе питания, минимальная и максимальная нормы скармливания отдельных видов кормов, цена каждого корма. Реальная модель включает в себя многие десятки уравнений и неравенств, но мы, как делали и раньше, упростим ее и, чтобы дать представление о принципах ее построения, ограничимся моделью выбора рациона для одного вида животных, а их физиологические потребности сведем только к двум показателям питания: калорийности корма и количеству в нем протеина. Неизвестными задачи будут x_j — количество корма j -го вида (комбикорма, силос, сено и т. д.) в суточном рационе животного.

Исходное ограничение в модели обусловлено наличием кормов в хозяйстве. Пусть в стаде содержится N животных, а дневной расход корма j -го вида ограничен величиной Q_j . Тогда,

чтобы установленный рацион не приводил к перерасходу кормов, должны соблюдаться условия, записываемые по каждому виду кормов:

$$Nx_j \leq Q_j.$$

Если в килограмме корма j -го вида содержится e_j кормовых единиц, то для обеспечения необходимой калорийности дневного рациона сумма содержащихся в нем кормовых единиц по всем n видам кормов должна быть не меньше физиологической нормы E :

$$\sum_{j=1}^n e_j x_j \geq E.$$

Аналогичным образом, обозначив p_j содержание протеина в килограмме корма j -го вида и P суточную потребность животного в протеине, запишем условие обеспечения животного протеином

$$\sum_{j=1}^n p_j x_j \geq P.$$

Совершенно такой же вид имели бы неравенства, если бы мы включили в условия задачи обеспечение животных кормами, сбалансированными, скажем, по аминокислотному составу, жирным кислотам, витаминам, микро- и макроэлементам.

Разумеется, в модели должно учитываться условие, что количество F (по объему или массе) корма, которое может за день съесть животное, ограничено, причем это может быть связано не только с физиологическими особенностями животных, но и с нехваткой некоторых видов

кормов в хозяйстве:

$$\sum_{j=1}^n x_j \leq F.$$

Формирование модели, как и раньше, завершим написанием функции цели. Критерием оптимальности послужит стоимость дневного рациона. Очевидно, она должна быть минимальной:

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j = \min.$$

Рассмотренная модель оптимального рациона может служить основой для разработки модели оптимальной структуры кормопроизводства. Главным условием оптимизации кормовой базы выступает требование, чтобы животные были обеспечены полноценными кормами, которые позволили бы достичь наивысшей их продуктивности при наименьших затратах труда, денежных средств и материальных ресурсов. Исходными данными для расчета служат структура стада, физиологические потребности животных в питательных веществах, возможности хозяйства в выделении земельных площадей для производства кормов и ряд других показателей, которые использовались в модели оптимальной структуры посевов. Собственно говоря, в этой задаче и объединяются две модели: оптимального рациона кормления животных и оптимальной структуры посевов. Результатом решения этой задачи становится наилучший в данных условиях вариант производства кормовых культур.

...Оптимизировать структуру стада. Следовательно, мы имеем дело со всей той же задачей

на оптимум. Принцип ее решения аналогичен уже приведенному. Попутно скажем только, что продуктивность животноводства и его экономические показатели в большой мере зависят от структуры стада – соотношения численности половозрастных групп в поголовье определенного вида животных. Движение этих групп в течение определенного времени (например, года) называется оборотом стада. Так вот, целенаправленное управление оборотом стада представляет собой весьма сложную проблему. Следует учесть биологические закономерности перехода животного из одной группы в другую, продуктивность и стоимость его содержания в каждой группе, закономерности процесса воспроизводства молодняка, наличие кормов и многие другие факторы. Так, в молочном животноводстве существенную роль играет сезонность отела коров, которую можно регулировать, выбирая соответствующий срок их осеменения. Научно обоснованное регулирование оборота стада и оптимизация его структуры для разных видов животных – типичная практическая задача, которая может быть успешно решена с помощью компьютера.

Вообще же в животноводстве у вычислительной техники широкое поле деятельности. Об этом свидетельствует отечественный, а еще больше – зарубежный опыт. Бурное развитие микроэлектроники привело к созданию надежных и сравнительно дешевых устройств, которые позволили в значительной мере автоматизировать основные технологические процессы фермского хозяйства.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

До сих пор мы рассматривали методику линейного программирования применительно к задачам *текущего планирования*, когда план составляется на сравнительно короткий срок и более или менее известны необходимые условия его выполнения. Скажем, в недавнем примере расчета оптимального рациона мы знаем наличие кормов в хозяйстве, их питательную ценность, потребности животных, численность поголовья стада и т. д.

При *перспективном планировании* план составляется на длительный период, в течение которого возможны существенные изменения как в условиях производства, так и в соответствующих ресурсах. Чтобы учесть динамику процессов, этот период нужно разбить на ряд этапов, в результате чего в модели появляются специфические ограничения и число уравнений и неравенств значительно увеличивается.

Разговор с долгосрочным, многоэтапным планированием дает нам повод познакомить читателя с эффективным методом решения подобных задач — с динамическим программированием. Это более молодая отрасль оптимального планирования, чем линейное программирование. Ее родоначальником считается американский математик Р. Беллман. Динамическое программирование специально предназначено для оптимизации многошаговых процессов.

Однако обратимся к примеру. Предположим, что некоторому хозяйству на пятилетие выделены средства в размере Q тысяч рублей для развития двух отраслей: растениеводства и

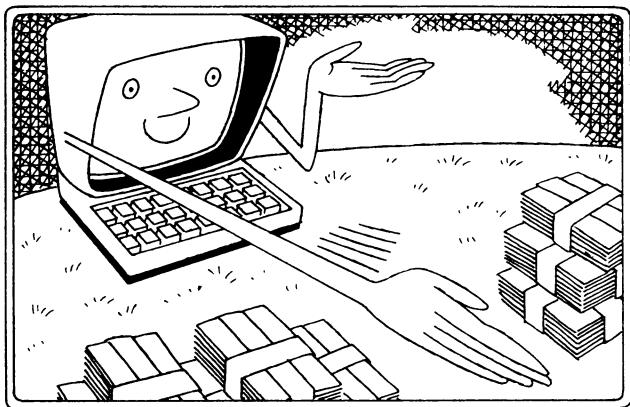
животноводства. В начале каждого года эти средства, а также часть прибыли, полученной хозяйством в предшествующем году, распределяются между указанными отраслями. Известна отдача, получаемая от вложения средств в каждую отрасль. Вопрос заключается в том, чтобы перед началом каждого года определить размер средств, которые следует направить на развитие каждой отрасли, причем общая прибыль хозяйства, полученная от обеих отраслей за пятилетний период, должна быть максимальной.

Как и при линейном программировании, сформулированная нами задача о распределении средств между растениеводством и животноводством (а она и ей подобные типичны для практики динамического программирования) оказывается задачей на поиск оптимума, то есть максимума или минимума целевой функции, которая имеет вид

$$\sum_{i=1}^n [f'_{i+1}(x_i) + f''_{i+1}(Q_i - x_i)] = \max.$$

Здесь $f'_{i+1}(x_i)$ – прибыль первой отрасли (растениеводство) в $i + 1$ -м году при условии, что в предыдущем году в нее вложили x_i средств. Аналогичный смысл имеет другое слагаемое для второй отрасли (животноводство), причем здесь учтено, что если в первую отрасль вложили x средств, то для второй их осталось $Q - x$.

Учитываются при динамическом программировании, как и при линейном, наличие ограничений, например, средств, которые можно распределить между отраслями. Заметим попутно, что в реальном случае дело может ка-



саться распределения средств не между двумя отраслями, а среди большого количества. В самом деле, растениеводство резонно разбить на «подотрасли»: зерновое хозяйство, овощеводство, кормопроизводство и пр.; животноводство — на молочное, откорм крупного рогатого скота, свиноводство, овцеводство и т. д. В число отраслей, которым выделяются деньги, можно также включить механизацию, мелиорацию, строительство. Кроме того, распределять средства приходится не только внутри одного хозяйства, но и вести речь об оптимальном планировании финансирования их группы. Наконец, может встать вопрос о распределении не денег, а трудовых ресурсов, машин, запасных частей и т. д. Методы динамического программирования вполне применимы ко всем подобным проблемам.

Специфика и трудность задач, для решения

которых целесообразно прибегать к методам динамического программирования, состоит в том, что оптимум нужно найти в целом для всей последовательности этапов. Сравнительно легко сделать выбор для одного шага, значительно сложнее предусмотреть, как он отразится в долгосрочной перспективе. Соображения ближайшей выгоды порой оборачиваются крупными просчетами. Скажем, мы знаем, что наибольшую прибыль от вложения средств дает животноводство, поэтому очень соблазнительно главную их часть направить именно в эту отрасль. Но подобное решение может оказаться неправильным, если взглянуть на дело с точки зрения дальней перспективы. Лишая средств растениеводство, мы тем самым подрываем развитие не только данной отрасли, но затрудняем развитие и животноводства, поскольку заведомо ослабляем его кормовую базу. Предвидеть последствия своих действий – значит предвидеть будущее. Динамическое программирование как раз и позволяет учитывать те выгоды, которые можно получить не на одном каком-либо этапе, а от всего процесса с учетом дальней перспективы.

Итак, общее правило планирования многоэтапного процесса состоит в том, что решение на каждом шаге должно приниматься с учетом будущих последствий. Истина эта тривиальна, но увы, в реальности планирование ведется не более чем на один шаг вперед. Дело в том, что предусмотреть, как события станут развиваться в будущем, очень трудно – нужно перебрать немислимое число различных вариантов. Прикиньте сами, сколько вариантов нужно рассмотреть для решения нашей простой задачи. Процесс прямо-таки лавинообразный. Ведь если мы

примем 10-процентную ступеньку деления средств (10% вложений – растениеводство, 90% – животноводство, 20% – растениеводство и соответственно 80% – животноводство и т. д.), то нам придется рассмотреть для составления пятилетнего плана сто тысяч вариантов, подсчитать для каждого из них предполагаемую прибыль и выбрать из этого огромного количества вариант, обеспечивающий наибольшую прибыль хозяйства в целом за пятилетку.

Но среди шагов, на которых приходится принимать решение, есть один, когда не требуется большой прозорливости и многовариантных расчетов, а нужно только учесть выгоду, которую можно получить именно на данном этапе – это последний шаг. Если бы нам каким-либо образом удалось оптимально распределить средства между отраслями для первых четырех лет, то спланировать их размещение для пятого года не составило бы труда. Мы должны были бы поступить с ними так, чтобы прибыль, полученная в последнем году, была максимальной.

Идея динамического программирования и состоит в том, что процесс планирования начинается с последнего шага. Рассматриваются возможные ситуации, предшествующие последнему шагу, и выбирается его наилучший вариант. Оптимально спланировав последний шаг, переходим к предыдущему и тоже оцениваем его с тех же позиций. Таким образом, процесс динамического программирования разворачивается в обратном порядке – от последнего шага к первому, от конца планового периода к его началу. Выигрыш здесь достигается за счет того, что вместо решения сложной глобальной проблемы

раз за разом решаются несравнимо более простые задачи последовательной оптимизации каждого шага.

Чтобы закончить наш короткий рассказ о динамическом программировании, необходимо упомянуть еще об одной особенности, отличающей его от линейного программирования. Тот и другой метод получили свое название отнюдь не случайно. Сфера использования линейного программирования предполагает, что и функция цели и ограничения, образующие математическую модель, являются линейными функциями, то есть отражают пропорциональную зависимость между величинами. Скажем, мы обоснованно полагаем, что два трактора сделают вдвое больше работы, чем один, а в двух килограммах сена содержится в два раза больше питательных веществ, чем в одном, и т. д. Во многих случаях такое допущение вполне приемлемо, но далеко не всегда. Так, двойная доза удобрения может не только не дать двойной прибавки урожая, но и нанести вред растениям и почве, увеличение в два раза средств на развитие производства зачастую не способно привести к двойному увеличению прибыли и т. д. Когда предположение о пропорциональности результата исходным действиям явно несправедливо, обращаться к линейному программированию неправомерно. Что же касается динамического программирования, то оно применимо и для решения нелинейных задач. А вместе эти методы в содружестве с компьютерной техникой — отличные помощники сельских специалистов.

Глава 7 СЕМЬ РАЗ ОТМЕРЬ ...

Нет несчастья хуже того, когда человек начинает бояться истины...

Б. Паскаль

Книги по физике изобилуют сложными математическими формулами. Однако в основе любой физической теории лежат не формулы, а идеи и мысли.

А. Эйнштейн

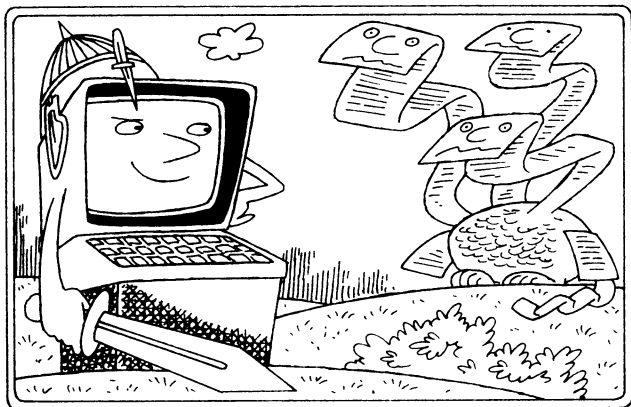
СТАТИСТИКА ЗНАЕТ ВСЕ

Эта фраза открывает вторую часть знаменитого романа И. Ильфа и Е. Петрова «Двенадцать стульев». Далее великие сатирики приводят целый калейдоскоп разнородных фактов, которыми (отнюдь не из любопытства!) интересуется вездесущая статистика, а от нее, как утверждают авторы, «не скроешься никуда». И не случайно в юмористическом повествовании то и дело мелькают выражения «средний гражданин», «в среднем» и т. п. Впрочем, о «среднем» мы еще поговорим, а пока скажем, что основа статистики – все та же информация.

Управленческая деятельность на всех уровнях, начиная от конторы хозяйства и кончая самыми высокими правительственными органа-

ми, сопровождается сбором, подготовкой и рассылкой огромного количества всевозможных справок, сводок и отчетов. Любое такое учреждение – это прежде всего центр, где ведутся сбор, хранение, извлечение, анализ и распределение информации. Безбрежная бумажная река течет изо дня в день по служебным кабинетам, растекается по вместительным папкам, заполняет шкафы и, наконец, успокаивается на полках архивов. Число документов, ежегодно проходящих через учреждения, исчисляется многими миллиардами. В них заключен огромный и, к сожалению, нередко бесполезный труд.

Чрезмерное пристрастие к бумаготворчеству многих наших ведомств подвергается справедливой критике, принимаются меры по разумному сокращению циркулирующих документов, но и совсем без бумаг в управлении хозяйством тоже не обойтись. Ведь правильное решение может быть принято только на основании достоверной и достаточной информации. Основное назначение всех этих отчетов, сводок, справок в том и состоит, чтобы по содержащимся в них сведениям можно было получить представление о реальном положении дел, намечающихся тенденциях, о подстерегающих трудностях. Значительно возрастают требования к доброкачественной информации в условиях перехода к экономическим методам хозяйствования, когда руководители и специалисты должны быть особенно осмотрительны в своих решениях. Поэтому рассказ о применении компьютеров будет неполным, если мы хотя бы вскользь не коснемся такой обширной области их использования, как обработка и анализ статистической информации.



Строго говоря, любое решение в области управления основывается на предположениях. Хорошо, если они в высшей степени надежны и убедительны, а если нет, то вероятны ошибки. Увы, богатый жизненный опыт показывает, что даже специалисты часто делают разные выводы из одних и тех же фактов и приходят порой к прямо противоположным решениям. Подобное несогласие может иметь множество различных объяснений. Но ведь решение должно быть единственным и верным. Поэтому оно должно вытекать из хорошо подкрепленного реальными фактами предположения.

Для обоснования выводов из имеющихся данных служат методы математической статистики. Эта дисциплина позволяет оценивать степень доверия, с каким следует относиться к тому или иному факту, предположению или аргументу. У нее давняя история, богатый опыт, хорошо разработанное математическое обеспе-

чение, но здесь мы не будем касаться подробностей, а лишь отметим большие возможности статистики для анализа сложных процессов сельскохозяйственного производства и приведем в связи с этим несколько упрощенных примеров по использованию компьютера для решения практических задач.

Математическая статистика дает методы количественной оценки случайных массовых явлений. К подобным явлениям, например, можно причислить все сельскохозяйственные работы, потому что они производятся из года в год и на обширных территориях. По принципу повторяемости к ним также относятся, скажем, поломки машин, болезни животных и растений, погодные условия. Каждое такое явление характеризуется одним или несколькими количественными показателями. Результат труда земледельца на поле – величиной урожая, расходом семян, удобрений, топлива и т. д. Поломки машин – их числом, длительностью простоев. Погодные условия – температурой воздуха и почвы, количеством осадков, скоростью ветра и пр. Явления эти называются случайными потому, что характеризующие их показатели меняются нерегулярным образом. Различается урожайность на разных полях, в разных хозяйствах, в разные годы. В случайные моменты времени ломаются машины, и их простой после каждой поломки не одинаков.

Сельский специалист постоянно вынужден принимать решения в условиях неопределенности, поэтому методы математической статистики могут помочь ему проникнуть в глубину подспудных, скрытых от глаз механизмов, управляющих развитием событий, с которыми

ему приходится иметь дело. А компьютер не только подскажет правильное решение, но и сделает это своевременно, поскольку для него «переворошить» сотни и тысячи чисел – занятие считанных секунд.

Итак, делом статистики является анализ некоторого количества числовых данных и вывод по ним заключения. Первым, а часто и окончательным результатом статистической работы будет вычисление *среднего значения*. Формула для расчета среднего, а точнее, среднеарифметического очень проста. Если имеется n чисел x_1, x_2, \dots, x_n , то их среднеарифметическое вычисляется так:

$$M = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}.$$

Скажем, известен годовой надой трех коров: 4000, 5000, 6000 килограммов, тогда их средняя продуктивность $M = (4000 + 5000 + 6000) : 3 = 5000$ килограммов.

Но иногда вычисление среднего может представить некоторые затруднения. Положим, имеются два поля: одно площадью 100 гектаров, другое – 200, на которых урожайность с гектара соответственно 4 и 3 тонны. В этом случае для определения средней урожайности нельзя просто сложить сборы на обоих полях и сумму разделить на два, а следует ввести в формулу так называемые веса, характеризующие размер полей. Правда, в нашем случае можно поступить проще: вычислить общий урожай и разделить его на суммарную площадь: $M = (100 \cdot 4 + 200 \cdot 3) : 300 = 3,3$ тонны.

Как мы уже сказали, при обработке ста-

статистического материала нередко ограничиваются вычислением среднего – средней урожайности, среднего надоя, средней наработки машины на отказ и т. д., и, оперируя этим средним, пытаются сравнивать показатели разных сортов растений, пород скота, эффективность применения тех или иных агрономических приемов, удобрений, кормов, качество машин и пр. Но среднее значение далеко не полностью характеризует явление, подверженное случайным колебаниям, и часто возникает необходимость в оценке неопределенности полученного результата, в установлении степени доверия к вытекающим из него выводам. Об изменчивости показателя, разбросе его значений можно судить по среднеквадратическому (стандартному) отклонению

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M)^2}{n - 1}}.$$

Величина σ характеризует размах колебаний показателя относительно его среднего значения, например разброс урожайности, надоев и т. д., по сравнению с их средними величинами. Чем больше σ , тем менее устойчив показатель, следовательно, тем меньше должно быть доверие к сделанным на этом основании выводам.

Для оценки неустойчивости показателя иногда используют коэффициент его вариации. Среднеквадратическое отклонение измеряется в тех же единицах, что и сам показатель, а вот коэффициент вариации, характеризующий относительную изменчивость показателя, выражает-

ся в процентах. Его вычисляют по формуле

$$V = \frac{\sigma}{M} 100.$$

Мы не будем приводить пример расчета среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации, потому что эта процедура довольно громоздкая, а порядок вычисления ясен из приведенных формул. Лучше мы покажем, как эти статистические показатели можно использовать для решения некоторых практических задач, возникающих перед специалистом сельского хозяйства.

МЕРА ПРАВДОПОДОБИЯ

Итак, конкретный пример. В некотором числе хозяйств испытывается новый агротехнический прием, и в результате урожайность у них в среднем оказалась на 15 процентов больше, чем там, где этот прием не был использован. На первый взгляд кажется, что данные однозначно говорят в пользу агротехнической новинки. Однако, немного подумав, мы вправе усомниться, достаточно ли велики различия в результатах, чтобы дать нам разумную степень уверенности в том, что эти различия не случайны, а обеспечены именно применением упомянутого агротехнического приема.

На результаты сельскохозяйственной деятельности всегда оказывают совместное влияние большое число разнообразных факторов. Поэтому может случиться, что, если мы проверим урожайность в хозяйствах, проводивших эксперимент, и там, где поля возделывали

по-старому, мы обнаружим большой разницей в показателях. На некоторых экспериментальных полях урожай будет даже ниже, чем на полях с обычной агротехникой, и наоборот, отдельные поля и даже целые хозяйства, где не применялась новинка, смогут похвастаться повышенным урожаем.

Следовательно, возникают два соперничающих предположения, две гипотезы. Одна отмечает различие в результатах эксперимента, другая приписывает это чисто случайным обстоятельствам. «Преднамеренно или нечаянно?», «Существует ли определенная причина, что события произошли именно так, а не иначе, или возникло лишь совпадение (расхождение)?» – такие вопросы мы постоянно задаем себе в различных житейских и производственных ситуациях. Как найти разумный довод в пользу того или иного предположения?

Одна из задач математической статистики и состоит в том, чтобы количественно оценить степень значимости различия в результатах серий опытов. Покажем на примере, как это делается, правда, не вдаваясь в подробности.

Пусть стоит задача проверить эффективность применения технической диагностики при эксплуатации тракторов, для чего выделены две группы машин: первая, обслуживаемая с использованием диагностики, и вторая – контрольная, которая эксплуатируется без диагностики. За работой тракторов обеих групп организован хронометраж, в результате чего через некоторое время выяснилось, что средняя наработка на отказ у тракторов экспериментальной группы составляет 130 часов, а у контрольной – 100 часов.

Поскольку частота поломок у тракторов в той и другой группе отличалась большой пестротой, не может быть твердой уверенности, что разница в средней наработке на отказ у тракторов обеих групп обусловлена применением диагностики при эксплуатации одной из них. Средняя наработка на отказ, полученная в результате наблюдения за некоторым числом машин в течение определенного времени, сама является случайной величиной, подверженной колебаниям. Если мы повторим наш опыт, то наверняка показатели средней наработки на отказ будут другими. Как оценить ту степень доверия, с которой резонно отнестись к результатам нашего эксперимента?

Степень неопределенности среднего случайной величины оценивается доверительными границами ε , в пределах которых может лежать ее значение. Если в опыте мы получили среднее значение M , то с определенной вероятностью допустимо утверждать, что истинное среднее лежит в пределах $M - \varepsilon \leq M_{\text{н}} \leq M + \varepsilon$.

Доверительные интервалы вычисляются по формуле

$$\varepsilon = t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Данные для подтверждения того или иного предположения должны быть не только точными, но и достаточно обширными, чтобы максимально исключить возможность ошибки при обобщении. Приведенная формула отражает это обстоятельство. Чем большее число n объектов используется для опыта, тем меньше неопределенность результата. Параметр t берут из так

называемой таблицы распределения Стьюдента, которую можно найти в любой книге по статистике. Ну, а σ , как мы помним, среднеквадратическое отклонение опытных данных от среднего значения. Величина параметра t зависит от уровня значимости, с которой мы хотим получить результат, и от числа объектов наблюдения. Скажем, если в опыте с шестнадцатью тракторами была получена средняя наработка на отказ 100 часов с доверительными границами $\pm 7,5$ часа при уровне значимости 0,9, то, следовательно, с вероятностью 0,9 можно полагать, что истинное значение средней наработки на отказ тракторов испытываемой марки в условиях, сходных с экспериментальными, лежит в пределах от 92,5 до 107,5 часа.

Вернемся к опыту по оценке эффективности использования диагностики при эксплуатации тракторов. Мы установили, что разность в средней наработке на отказ у двух групп тракторов составляет $130 - 100 = 30$ часов. Эта величина случайна, и для нее также может быть вычислен доверительный интервал по формуле, которая приведена выше. Он оказался равным 15 часам. Поскольку 30-часовая разность в наработке на отказ выходит за пределы, ограничивающие чисто случайные колебания (15 часов), можно утверждать, что эта разность не случайна, а связана с применением диагностики для обслуживания одной из групп тракторов. Если бы разность в наработке оказалась меньше 15 часов или размах ее колебаний был больше 30 часов, то вывод о пользе диагностики был бы необоснован.

Процедура, о которой мы рассказали, называется проверкой гипотезы на значимость.

Нами была выдвинута гипотеза о полезности технической диагностики для повышения надежности тракторов. Эксперимент показал увеличение средней наработки на отказ у тракторов, при обслуживании которых использовалась диагностика. Но насколько значимо это увеличение? Мы установили, что разность в наработке на отказ у двух групп тракторов значима, поскольку превышает возможный случайный разброс.

При ответе на этот вопрос не исключены ошибки двух видов. Мы могли отвергнуть выдвинутую гипотезу, в то время как она является верной, и напротив, признать ее правильной, в действительности же она ошибочна. Вероятность просчетов того и другого рода определяется выбором уровня значимости, величину которого можно связать с ценой ошибки каждого вида и решить эту задачу на поиск оптимума. Скажем, оценить ущерб от внедрения диагностики, когда предположение о ее эффективности ошибочно, и, наоборот, цену потерь от простоя машин без применения диагностики на основании ошибочного заключения о ее бесполезности. Не углубляясь в этот вопрос, отметим лишь, что статистика вооружает специалистов действенными методами, необходимыми им в повседневной практике.

Представляется полезным познакомить читателя еще с одним очень удобным и эффективным методом проверки гипотез, вытекающих из имеющихся в наличии данных. Пусть решено испытать эффективность, скажем, кормовой добавки, для чего выделено две группы коров: одна – опытная, другая – контрольная. Результаты опыта сведены в таблицу.

Группы коров	Число коров, надой у которых			Сумма внутри опытной и контрольной групп
	сни-зился	остал-ся без изме-нения	повы-сился	
Опытная	5	10	15	30
Контрольная	5	10	5	20
Сумма по образовав-шимся группам надоя	10	20	20	50

Можно ли по этим данным сделать заключение о полезности проверяемого мероприятия? Результаты опыта не очень выразительны. Ведь в опытной группе, где использовалась кормовая добавка, есть животные, снизившие продуктивность, между тем у некоторых коров из контрольной группы, где все условия оставались прежними, надой тем не менее возрос, наконец, у части коров в той и другой группе продуктивность вообще не изменилась.

Ситуация, с которой мы столкнулись, довольно типична для аграрной практики. Вместо коров в таблице могли быть указаны поля, на которых применены та или иная технология, виды удобрений или средства защиты растений, хозяйства с двумя различными формами организации труда, уровнями механизации и т. д. Поскольку результаты сельскохозяйственной деятельности зависят от большого числа факторов, внедрение любого мероприятия проявит себя в чем-то по-разному. А оценить его полезность все равно нужно.

Это можно сделать, используя метод проверки гипотез по так называемому критерию

согласия Пирсона χ^2 . С ним мы сейчас и познакомим читателя, но прежде сделаем одно замечание. В нашем примере для оценки результата опыта рассматриваются три градации: надой снизился, надой остался без изменения, надой увеличился, что сделано с целью упрощения ситуации. Число градаций можно легко увеличить, разбив диапазон возможных колебаний надоя, скажем, от 3000 до 6000 килограммов на интервалы, например 3000–3100, 3100–3200 килограммов и т. д. При увеличении числа градаций достоверность вывода повысится.

Итак, рассматривая таблицу с результатами опыта, мы выдвигаем гипотезу, что применение испытываемой кормовой добавки не приводит к увеличению надоя. Нам нужно проверить правдоподобие этой гипотезы. Если расчет подтвердит ее правомочность, то будет доказано, что препарат неэффективен, в противном случае нам придется отказаться от выдвинутой гипотезы, тем самым подтвердив действенность препарата. Процедура проверки состоит в следующем. Составим таблицу и укажем в ее клетках число коров обеих групп, предполагая, что препарат не оказал абсолютно никакого влияния на продуктивность животных:

Группы коров	Число коров, надой у которых			Сумма внутрипытной и контрольной групп
	снизился	остался без изменения	повысился	
Опытная	8	15	7	30
Контрольная	2	5	13	20
Сумма по образованным группам надоя	10	20	20	50

При составлении таблицы мы придерживались условия, что общее количество коров и число их в каждой группе сохраняется неизменным. Скажем, при эксперименте, как видно из первой таблицы, 10 коров снизили надой. Поэтому и во второй таблице, представляющей гипотетический результат опыта, мы сохраняем неизменным число коров, продуктивность которых уменьшилась. То же самое и по остальным позициям.

Следующий этап процедуры проверки гипотезы требует вычисления отклонения реальных результатов опыта от гипотетических. Делается это по приведенной ниже формуле, в которой обозначены m_i и m'_i — число коров, указанных соответственно в клетках первой и второй таблиц, n — число клеток в таблице:

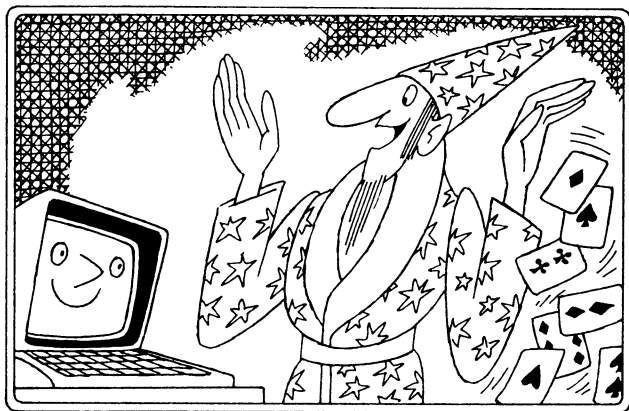
$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(m_i - m'_i)^2}{m_i}.$$

Отклонение реальных результатов опыта, представленных в первой таблице, от гипотетических данных второй таблицы, составленной в предположении, что испытываемый препарат не оказывает никакого влияния на продуктивность животных, $\chi^2 = 26,3$.

Теперь нам нужно проверить, вызвано ли это отклонение чисто случайными обстоятельствами или оно обусловлено применением препарата. Для этого мы должны задаться уровнем значимости, то есть вероятностью достаточно достоверного для нас ответа, и степенью свободы данных, которыми мы располагаем. Степень свободы в нашем случае равна числу клеток в таблице минус 2, значит, получается 4. Надежность заключения оценим в 0,98, следовательно,

допустим возможность ошибки нашего вывода в двух случаях из ста. По этому уровню значимости и числу степеней свободы мы можем найти в приводимой в литературе по статистике таблице распределения величину χ^2 , сравнив которую с полученным нами расхождением опытных и гипотетических данных, оценим правдоподобность нашей гипотезы. По таблице для условий рассматриваемой задачи $\chi^2 = 12$, а вычисленное отклонение опытных данных от гипотетических $\chi^2 = 26,3$, то есть вызвавший его фактор нельзя признать случайным, и поэтому гипотезу о том, что кормовая добавка не влияет на продуктивность животных, мы должны отвергнуть и признать препарат эффективным.

Математическая статистика располагает и другими методами проверки гипотез по имеющимся количественным данным. О них можно говорить довольно долго, но мы упомянем



лишь *дисперсионный анализ*, который позволяет рассортировать факторы по степени их влияния на интересующее нас явление. Как мы уже говорили, конечные результаты в сельском хозяйстве зависят от целого ряда факторов, и для выработки правильной стратегии и тактики, конечно, очень важно выявить среди них главные, второстепенные и малозначащие, чтобы иметь в своей деятельности правильные ориентиры. Дисперсионный анализ как раз и предназначен для такой классификации.

А теперь расскажем об одном из методов математической статистики, который позволяет «гадать по-научному», предсказывать или, как говорят ученые, прогнозировать будущее.

КАКАЯ ЗАВТРА БУДЕТ ПОГОДА?

Подготавливая любое мероприятие, руководитель и специалист должны достаточно хорошо представлять себе, как оно отразится на положении дел. Принимая решение, мы всегда вторгаемся в будущее, оказываем влияние на завтрашний день, а потому необходимо предвидеть последствия своих действий. О том, чтобы заглянуть в будущее, люди мечтали всегда. Древние гадали по внутренностям животных, по расположению планет, по линиям руки. Кое-кто и сейчас пытается проникнуть в будущее с помощью карт или кофейной гущи, но в серьезных делах лучше все-таки полагаться на науку.

Предвиденье подразумевает продолжение того, что уже началось, что уже обнаружило себя в настоящем. Будущее – следствие предшествующих событий, поэтому основой научного прогноза служат данные о прошлом и на-

стоящем. Сопоставляя и сравнивая их, мы пытаемся выявить направление событий.

Но имеющиеся в нашем распоряжении данные всегда затемнены многочисленными случайными влияниями, так что приходится прогнозировать в условиях большей или меньшей неопределенности. Свои предположения мы обычно сопровождаем осторожными словами «быть может», «возможно», «вероятно», произносимыми с тысячей различных оттенков. Поэтому вполне естественно, что научным фундаментом методов прогнозирования служит теория вероятностей, о которой первый русский специалист в этой области магистр философии С. Ревковский так и говорил – «наука вычислять надежды».

Для прогнозирования необходимо знать о взаимосвязях одних явлений с другими. Скажем, как зависит урожайность от дозы удобрений, привесы скота от состава кормов, рентабельность хозяйства от затрат на технику, на семена, на подготовку кадров и т. д. В отчетах и сводках об этом обычно имеются подробные данные за много лет, но вывести из них то или иное четкое заключение об определяющих закономерностях не так-то просто.

Методы выявления зависимости одних факторов от других называют *корреляционным анализом*, который составляет важный раздел теории вероятностей и математической статистики. С ним мы сейчас коротко и познакомим читателя.

Вот, например, в таблице приведены данные, взятые из годовых отчетов хозяйств, об урожайности кукурузы и затратах на удобрения под эту культуру.

Номер хозяйства	1	2	3	4	5	6
Урожайность, ц/га	34	40	38	42	30	37
Затраты на удобрения, руб/га	6	4	6	7	4	5
Номер хозяйства	7	8	9	10	11	12
Урожайность, ц/га	34	43	22	42	28	46
Затраты на удобрения, руб/га	4	5	3	7	5	8

Сразу обращает на себя внимание, что в этих данных наблюдается большой разнობой. Скажем, в первом хозяйстве на удобрения затратили больше средств, чем во втором, а урожай собрали меньший, в первом и третьем расходы одинаковые, а результаты разные и т. д. Это и понятно, потому что урожайность зависит и от многих факторов, не связанных с применением удобрений.

Для оценки тесноты связи между двумя показателями статистика предлагает использовать коэффициент корреляции, вычисляемый по следующей формуле, в которой \bar{x} и \bar{y} — средние значения, σ_x и σ_y — среднеквадратичные отклонения и \overline{xy} — среднеарифметическое произведение интересующих нас показателей:

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma_x \sigma_y}.$$

Если величины x и y совершенно независимы, то коэффициент их корреляции равен нулю, когда же они связаны линейной зависимостью, $r = 1$. Коэффициент корреляции может принимать и отрицательные значения. Так, при обратной пропорциональной зависимости между x и y $r = -1$. А в целом значения коэффициента корреляции лежат в интервале $-1 \leq r \leq 1$, причем чем ближе они к -1 или 1 , тем теснее связь между двумя величинами. Для нашего

примера $r = 0,7$, что свидетельствует о существенной взаимосвязи урожайности кукурузы и количества внесенных под нее удобрений.

Зависимость одного показателя от другого может быть описана выражением

$$y = ax + b,$$

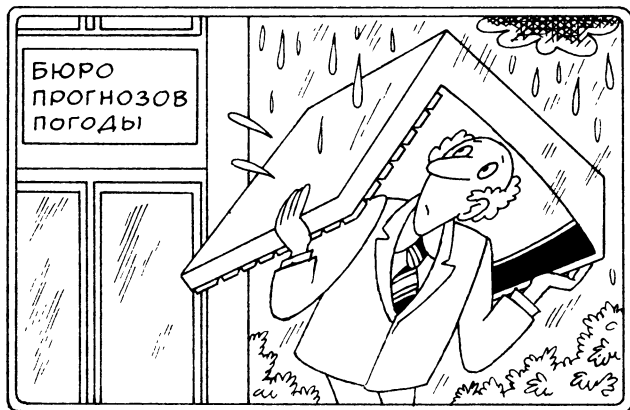
которое называется уравнением регрессии. Коэффициенты a и b сравнительно легко вычисляются с помощью коэффициента корреляции. Используя это уравнение, можно прогнозировать значение одного показателя в зависимости от другого. Так, для нашего примера связь урожайности кукурузы и затрат на удобрения, вносимые на один гектар, выражается таким уравнением регрессии:

$$y = 1,4x + 27,6.$$

Статистические методы позволяют оценивать достоверность прогноза при использовании выведенного уравнения. Они же дают возможность найти подходящую формулу, когда величины связаны между собой не линейной, а более сложной зависимостью.

В статистике имеются методы, которые позволяют исследовать многофакторные корреляционные зависимости и представлять их монофакторными уравнениями регрессии, что особенно важно для условий сельскохозяйственного производства. В подобных случаях вычисляются так называемые коэффициенты эластичности, которые показывают, на сколько процентов изменится показатель результативности хозяйственной деятельности при изменении какого-либо фактора на один процент, но при полной стабильности остальных.

И еще вкратце об *автокорреляции*. Искать связь можно не только между разнородными данными (такими, скажем, как количество вносимых удобрений и урожайность культур или запас деталей на складе и производительность машин и пр.), но и внутри последовательности однородных показателей. Например, мы можем выписать значения урожайности в хозяйстве за несколько лет и попытаться установить тесноту связи между этими показателями в смежные годы — в первый и второй, второй и третий, третий и четвертый и т. д. Затем вычислить коэффициент корреляции между урожайностью в сезоны, отстоящие друг от друга на один год, разделенные двумя, тремя годами и т. д. Подобный анализ называют автокорреляцией, и вполне возможно, что он позволил бы нам узнать кое-что о внутренней структуре последовательности данных, положим, выявить скрытую в них периодичность.



А теперь ответим на вопрос, вынесенный в заголовок. В самом деле, какая завтра будет погода? Когда вас об этом спросят, можно поступить очень просто: гляньте в окно и опишите сегодняшнюю погоду. Конечно, совсем не исключено, что ваш прогноз на следующий день не оправдается, но в 70 шансах из 100 вы окажетесь правы. Ведь путем автокорреляционного анализа установлено, что смена погоды происходит с определенной периодичностью, которая такова, что в 70 процентах случаев следующий день малоотличим от предыдущего. Подобное предсказание может показаться недостаточно точным. Увы, официальный прогноз погоды, который готовят мощнейшие компьютеры на основе данных многих сотен метеостанций, рассеянных по всему миру, спутников и зондов, запускаемых в околоземное пространство, будет лишь немного – процентов на 15 – достовернее вашего. Слишком сложны глобальные атмосферные процессы, и пока с их анализом наша техника справляется не вполне.

И все-таки ни одно техническое достижение не является столь универсальным, ни одно из них не обещает так много в будущем, как наши электронные «соратники» – компьютеры. Чрезвычайно велики перспективы применения ЭВМ и в сельском хозяйстве, но начать компьютеризацию этой важной и сложной отрасли следует, пожалуй, именно с применения вычислительной техники для обработки и анализа статистической информации. А ее у сельского хозяйства накоплено огромное количество, справиться с которым помогут статистические методы и ЭВМ.

Нередко говорят, что цифры – скучная мате-

рия. Нет, они многое могут дать пытливому уму. С их помощью мы проникаем в глубь веков, лучше понимаем свое настоящее, открываем завесу будущего. Просто за ними надо видеть сложный и прекрасный мир, окружающий человека. И раз уже мы открыли эту главу цитатой из Ильфа и Петрова, то и закончим их же словами: «Как много жизни, полной пыла, страстей и мысли, глядит на нас со статистических таблиц!»

Глава 8 РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

Век живи – век учись! и ты, наконец, достигнешь того, что, подобно мудрецу, будешь иметь право сказать, что ничего не знаешь.

Козьма Прутков

Удовлетворенность ума – признак его ограниченности или усталости. Ни один благородный ум не остановится по своей воле на достигнутом: он всегда станет притязать на большее, и выбиваться из сил, и рваться к недостижимому.

Монтень

КАК МЫ УЗНАЕМ СВОИХ ЗНАКОМЫХ?

По страницам научно-фантастических книг уже давно разгуливают роботы, и не просто какие-нибудь наши подобию из металла и синтетики, а именно биороботы, которые ничем не отличаются от людей, разве что более ловкие, сильные, умные и прозорливые, чем мы с вами. Чудеса техники, свидетелями которых мы являемся, служат хорошим подкреплением мечтаньям фантастов. Но нет-нет, а некоторые мелочи вызывают легкое сомнение и подтачивают веру во всемогущих роботов. Ну, например, как эти замечательные создания отличают один пред-

мет от другого и как ориентируются в окружающем мире?

Вопрос отнюдь не праздный. Ведь живые существа обладают этой важнейшей способностью, следовательно, и искусственному интеллекту надлежит успешно справляться с подобными задачами. Так можно ли научить роботов распознавать предметы, оценивать значение тех объектов, с которыми им придется встретиться?

Вам приходилось задумываться над вопросом: как мы в толпе узнаем своих знакомых? Или на фотографии отличаем ребенка от старика, мужское лицо от женского? А как выделяем дерево – неважно, дуб это или ель, береза или пальма – среди других предметов? Дерево мы не спутаем ни с чем другим: и летом, когда оно красуется в зеленом наряде, и поздней осенью, когда холодный ветер уносит с него последние листочки, и зимой – под пушистой снежной шапкой. Дерево мы узнаем, выглянув через окно в

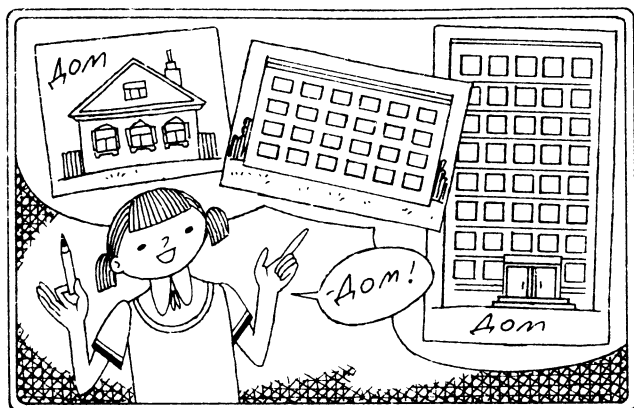


сад, на картине художника и рассматривая бесхитростный детский рисунок. Вот и роботу надо объяснить, чем одни предметы похожи на другие и чем они отличаются.

При кажущейся простоте вопросы эти, как говорится, на засыпку. Великие ученые и мудрейшие философы уже не одно тысячелетие бьются над ними, пытаясь понять, чем определяется замечательная наша способность не только смотреть, но и видеть, не только слушать, но и слышать, не только воспринимать предметы окружающего мира, но и узнавать их. Между тем дальнейшее развитие автоматизации, компьютеризации и роботизации требует создания машин, которые могли бы распознавать и идентифицировать объекты. Что же касается полноценного общения с человеком, то компьютеру надлежит читать любые тексты, воспринимать команды с голоса, овладеть искусственной речью. А до недавнего времени ЭВМ надежно различали лишь дырочки в перфокартах и перфолентах.

Робот-сборщик машин-должен уметь выбирать нужные детали со стеллажей. Робот-контролер-выявлять бракованную продукцию. Сельскохозяйственного робота следует научить отличать фрукты от листьев, зрелые плоды от незрелых и многому другому. Компьютер-технический диагност-обязан по набору «симптомов» распознавать «болезни» машин. Компьютеру-эксперту придется по представленной информации оценить явления, скажем, состояние посевов, отнести ситуацию к одной из типовых и выдать квалифицированный совет.

Смысл операции распознавания объектов заключается в том, что автомат подобно человеку



сортирует их, относя каждый к одному из множества известных классов. Скажем, «это – дерево, а это – дом», «эта болезнь – грипп, а эта – бронхит», «эта деталь исправна, а эта – нет», «это – одна буква, а это – другая» и т.п. «Эта неисправность – поломка подшипника». «Эта буква – А, а эта – В» и т.д.

Итак, имеется набор классов или, как говорят, алфавит классов: А, В, С и т.д., например перечень болезней человека или причин отказов машин. Распознать объект, явление – значит отнести его к одному из классов. Нередко задача сводится к классификации всего двух видов: механизм «исправен – неисправен», человек «здоров – болен», товар «годен – негоден».

Каждый класс наделяется некоторым числом признаков. Чтобы определить, к какому классу относится данный объект, производится последовательная проверка наличия у него необходимых признаков. Признаки объектов принято

делить на качественные и количественные. Качественным признаком будет тот, о котором можно сказать, есть он или нет, и, следовательно, его можно представить в виде двоичного кода: 1 – признак есть, 0 – признака нет, что, как мы знаем, очень важно для компьютерной обработки информации. Количественные признаки измеряются инструментами и приборами и выражаются числами в определенных единицах. Следует сказать, что подобное деление признаков, разумеется, условно.

Информацию об окружающем мире человек получает с помощью органов чувств: зрения, слуха, обоняния, вкуса, осязания. Значит, подобными искусственными органами нужно снабдить и машину. Так, ее простейшим органом зрения может служить фотоэлемент, преобразующий световые сигналы в электрический ток, имитатором слуха – микрофон, существуют устройства, различающие запахи, тактильные («осязывающие») датчики и т.п. А кроме того, машина способна «видеть» недоступную человеку часть спектра излучений, «слышать» неслышимые людям звуки, «чувствовать» магнитные поля, радиацию и многое другое.

Таким образом, нет проблемы в том, чтобы доставить ЭВМ любое число точнейших данных о свойствах объекта, но гарантируют ли они безошибочное его узнавание среди других? Ведь образ предмета складывается не только из набора различных признаков, с которыми нас знакомят органы чувств или точные приборы. Скажем, какие признаки должен учесть компьютер, чтобы надежно отличить в рукописном тексте букву «Ы» от буквы «Ю» или «И» от «Н» и т.д.? У каждого-то из нас свой почерк, порой

весьма неразборчивый. Кроме видимых признаков, в любом предмете содержится «нечто», представляющее его сущность, благодаря которой и формируется его единый образ, дающий возможность узнавать заинтересовавший нас объект среди других.

При опознании предметов человек в значительной мере использует неявные, смутные, глубинные ориентиры, которые и им самим отчетливо не осознаются, не переводятся в точные определения. Способность схватывать целостный образ и мгновенно отделять в нем существенное от второстепенного – чисто человеческая форма восприятия и переработки информации. Компьютеру, даже самому совершенному, сделать это в каждой конкретной ситуации куда труднее. Уж если машина дала сбой, то ее ошибки в отличие от наших чаще всего бывают совершенно бессмысленными, абсурдными. Положим, бухгалтер, начисляя зарплату, просчитался на несколько рублей, ну а сбившийся со счета компьютер, ничуть не смущаясь, начислит вам хоть миллиард. Правда, если в него заложена программа, предусматривающая меры самоконтроля, то и электронный кассир вовремя спохватится.

КОМПЬЮТЕР УЧИТСЯ ЧИТАТЬ

Но вернемся к распознаванию образов, имея в виду, что проблема эта исключительно сложна и может решаться только при значительном упрощении задачи.

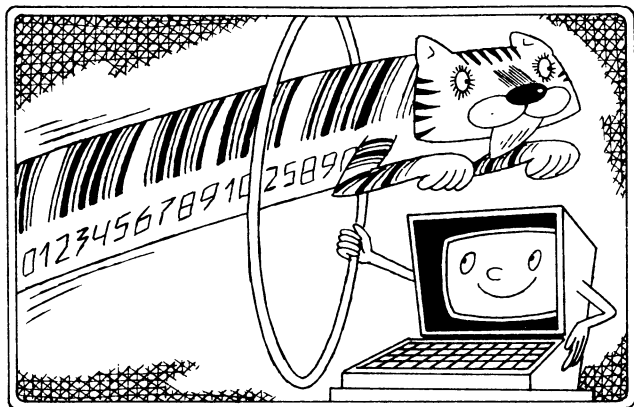
Самый распространенный способ научить машину узнавать объекты – дать ей достаточно полный перечень характерных и точных их при-

знаков (размеры, масса, цвет и т. д.), отличающих один предмет от других. Примером распознающего устройства, действующего на таком принципе, может служить приемная часть разменных автоматов, установленных в метро. Устройство отбирает нужные монеты по их размеру, массе и упругости металла.

Во многих странах мира товары в универсамах маркируются так называемым **полосковым кодом**, который наносится на упаковку в виде линий различной длины и толщины, расположенных на определенных промежутках друг от друга. Эта графическая комбинация и служит для кодирования информации. Кассиру остается только пронести покупку над прозрачной пластинкой, под которой помещается автоматическое читающее устройство. Луч лазера мгновенно считывает полосковый код, передает данные в компьютер, а тот без всякой задержки идентифицирует товар, выводит исчерпывающую информацию о нем на экран дисплея, печатает на чеке название покупки, ее массу и цену, одновременно запоминает вид и количество проданного и при необходимости сообщает администрации магазина, что запас того или иного товара пора пополнить.

Для нас уже стали привычными цифры на почтовых конвертах. А ведь это тоже код, по которому специальные автоматы сортируют корреспонденцию. Надо только аккуратно, по приводимому на конверте образцу-трафарету написать почтовый индекс, а уж электронное устройство, снабженное фотоглазом, без ошибки подготовит ваше письмо к отправке в нужное почтовое отделение.

Подобными стилизованными цифрами и



буквами информацию можно записать на специальных бланках, и тогда ЭВМ легко ее прочтет. Но, чтобы ввести изображение в машину, его, как мы знаем, нужно перевести на машинный язык, то есть представить комбинацией импульсов в виде двоичного числа. Процесс считывания происходит следующим образом. Изображение буквы или цифры проецируется на поле фотоэлементов, автомат подсчитывает затененные и освещенные ячейки, и в компьютер подается последовательность импульсов, зрительный образ заменяется двоичным числом. В памяти компьютера хранятся коды всех букв и цифр, с которыми и сравнивается поступивший сигнал. При его совпадении с одним из кодов происходит «узнавание» изображения.

Разумеется, несколько труднее было создать автомат, который, используя данный принцип, умел бы вместо стандартных знаков на специальном бланке считывать любой печатный

текст, поскольку существует очень много различных шрифтов, и каждая их буква закодирована, помещена в память компьютера, подвергнута последовательному сравнению с эталонными образцами и только потом окончательно опознана. К тому же надежность идентификации снижается из-за возможных дефектов печати.

Примерно по тому же принципу, но только практически значительно сложнее, решается задача по распознаванию устной речи. Компьютер разбивает речевой сигнал на составные части – фонемы, «узнает» определенный тембр голоса, темп и способ произнесения звуков, а анализатор производит идентификацию.

Уже выпускаются автомобили, «отзывающиеся» лишь на речь своего владельца, замки, открывающиеся только на голоса хозяев квартиры, есть и ЭВМ, напрямую «беседующие» с человеком.

КОМПЬЮТЕР СТАВИТ ДИАГНОЗ

Вообще-то медицина – не наша тема, но диагностика – и болезней человека, и неисправностей машины – относится все к той же проблеме распознавания образов. Компьютеру же совершенно безразлично, кого или что исследовать. Возможные состояния живого организма или машины разбиваются на некоторое число классов, каждый из которых носит у врачей название определенной болезни, а у инженеров – определенной неисправности. Компьютер после обследования пациента (в прямом или переносном смысле этого слова) должен отнести его состояние к одному из упомянутых классов, то

есть выявить недуг, которым страдает исследуемый объект.

С точки зрения абстрактной теории медицинской и технической диагностики почти не отличаются друг от друга, хотя практически поставить диагноз болезни человеку, конечно же, несравнимо труднее, чем машине. Тем не менее аналогии очевидны, и потому автор-специалист по технической диагностике, которому, казалось бы, пристало вести рассуждения о распознавании образов лишь на примерах поиска неисправностей в машинах, нет-нет да и будет обращаться к медицинским аналогиям.

Прежде всего отметим, что для диагностики тот простой прием, который используется для распознавания стилизованных, написанных по трафарету букв и цифр, не годится. Болезни человека да и неисправности достаточно сложного механизма не поддаются жесткой стандартизации на основе точного перечисления всех признаков. Весьма трудно произвести четкую классификацию состояний исследуемого объекта. Не всегда удается выявить все существенные симптомы, по которым компьютер может «опознать» болезнь. Порой не удается установить бесспорные границы между различными недугами. Кроме того, симптомы индивидуальны и в зависимости от конкретных факторов могут колебаться в широких пределах. Поэтому при разработке соответствующих программ пытаются имитировать действия диагноста, который не ограничивается анализом разрозненных признаков, а пытается воссоздать целостный образ исследуемого объекта, оценить его состояние не только по прямым и очевидным показателям, но и по едва уловимым признакам, при не-

полной и даже искаженной информации. Например, опытный врач узнает и принимает во внимание, казалось бы, второстепенные признаки, малосущественные детали.

Способ автоматического распознавания «болезней-неисправностей», который чаще всего применяется в диагностике, состоит в следующем. На основании практического опыта выбирается типичный образец каждого недуга, и соответствующие признаки помещаются в память ЭВМ. В результате последовательного сравнения с ними состояние объекта относится к тому классу, с образцом которого оно имеет наибольшее сходство. Однако в отличие от ранее приведенных примеров распознавания достаточно простых объектов, когда требуется точное совпадение всех заданных признаков, в диагностике речь идет лишь о близости объекта к образцу. Но как ее оценить и как вообще судить о степени сходства и различия объектов?

Чтобы ответить на эти вопросы, придется, как ни странно, обратиться к языку геометрии. В теории медицинской и технической диагностики о «болезнях-неисправностях» говорят как об областях в некотором n -мерном пространстве состояний организма или машины. Каждое конкретное состояние представляется точкой в этом пространстве, а степень различия оценивается расстоянием между ними. Конечно, нам, живущим в трехмерном мире, трудно вообразить некое многомерное пространство, хотя писатели-фантасты уже давно его освоили. На самом деле в n -мерном пространстве нет ничего мистического, это просто одна из многих очень полезных математических абстракций.

Как известно, положение точки на плоскости

определяется двумя числами-координатами x_1 и x_2 , а в пространстве – еще одной дополнительной координатой x_3 . Точками на плоскости и в пространстве можно представлять самые различные объекты. Скажем, если состояние двигателя определяется двумя показателями: x_1 – мощностью и x_2 – удельным расходом топлива, то на плоскости в этих координатах можно представить точками состояние каждого конкретного двигателя, а все изменения изобразятся линией. Различия же в состоянии двух двигателей можно оценить расстоянием между изображающими их точками, а оно для точек A и B (их координаты обозначены одним и двумя штрихами) определяется формулой

$$l = \sqrt{(x'_1 - x''_1)^2 + (x'_2 - x''_2)^2}.$$

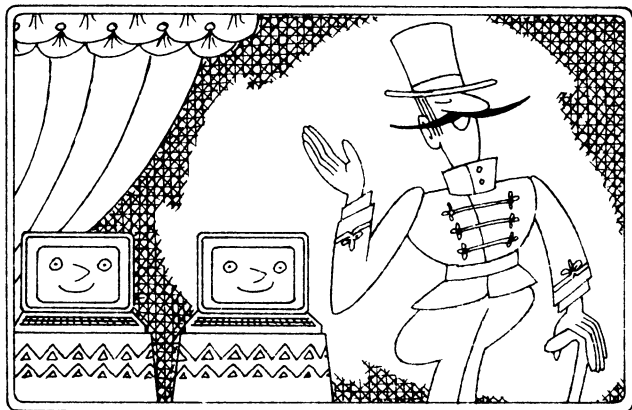
Ну, а задействовав еще один показатель состояния двигателя, например x_3 – моторесурс, мы переходим в трехмерное пространство, где справедлива формула, аналогичная приведенной, только под знаком корня появляется еще одно слагаемое. Поскольку на практике состояние двигателя определяется не двумя и не тремя, а значительно большим числом показателей, приходится оперировать многомерным пространством, но общие представления и математический аппарат остаются в целом сходными. Кроме того, здесь широко используется уже известный нам коэффициент корреляции, который тоже имеет геометрическую интерпретацию.

Таким образом, можно сказать, что здоровью человека или исправной машине соответствует некоторая область в пространстве состояний, каждой «болезни-поломке» – также своя об-

ласть. Поставить диагноз—значит отнести состояние исследуемого объекта к одной из областей, на которые разбито условное пространство.

Конечно, проблемы технической и особенно медицинской диагностики значительно сложнее, чем мы смогли их здесь обозначить. Так, в медицинской диагностике определяют не области нормального состояния и болезни организма вообще, а максимально корреспондируют их к конкретному человеку, поскольку у каждого из нас свои индивидуальные показатели здоровья и болезни.

Важно отметить, что в процессе практического использования компьютера для автоматического диагностирования он как бы проходит этапы обучения, накапливает опыт и совершенствуется. Вначале эталонные состояния исследуемого объекта задаются грубо, небольшим числом типичных симптомов, затем ставятся и



проверяются пробные диагнозы, уточняются симптомы и т. д., благодаря чему выводы ЭВМ становятся все более точными и обоснованными. Электронный диагност способен не только устанавливать связи между симптомами и «заболеваниями-неисправностями», не только опознавать их, но и судить об их причинах, предсказывать их развитие, назначать лечение, то есть в существенной мере имитировать действия квалифицированного специалиста.

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЭКСПЕРТ

Мы уже отмечали особенную сложность сельскохозяйственного производства, которое имеет дело с биологическими объектами и ведется на обширных территориях, открытых всем стихиям. Перед сельскими руководителями и специалистами повседневно возникают трудные задачи, связанные с непредсказуемыми факторами, скажем, с внезапными изменениями погоды, состояния посевов, условий содержания животных, с авариями машин и другими обстоятельствами, от которых существенно зависит успех дела. Но наши знания, опыт да и физические возможности не всегда позволяют с необходимой быстротой оценить и проанализировать возникшую ситуацию, своевременно принять правильное решение. Для таких случаев подмога быстродействующего «электронного советчика», к тому же обладающего обширной памятью и наделенного определенными «интеллектуальными способностями», не была бы лишней. Реальная практика фермерских хозяйств развитых стран показывает не только эффективность, но и настоятельную необходи-

мость применения компьютеров, связанных с вычислительными центрами и банками данных. Современный фермер уже не обходится в своей деятельности без использования компьютера, хотя его хозяйство обычно значительно меньше, чем у наших колхозов и совхозов.

Следует признать, что сельский руководитель или специалист находится в куда более сложном положении, чем его городской коллега. Он оторван от библиотек, научных центров, ему зачастую просто не с кем посоветоваться, встретившись с серьезными затруднениями. А выручить его как раз и мог бы компьютер, содержащий в своей памяти обширнейшую информацию из той или иной области знаний и способный мгновенно выдать нужную справку, подсказать наилучший выход из создавшейся ситуации. Для каждой специальности – агронома, зоотехника, инженера, экономиста и др. – может быть составлена библиотека алгоритмов и программ решения задач, типичных для конкретной профессии – вроде тех, о которых рассказывалось в предыдущих главах. Достаточно лишь вставить в персональный компьютер кассету или диск с нужной программой и ввести в него необходимые для расчета данные, как через считанные минуты будет получено решение задачи.

Компьютер может открыть практическому работнику свободный доступ не только к сведениям, содержащимся в книгах, справочниках, энциклопедиях, периодических изданиях, статистических отчетах, но и восполнить недостаток его личного профессионального опыта, сделать его достоянием знания и умения выдающихся ученых и мастеров своего дела. Представьте

себе компьютер, в чью память заложены тысячи возможных ситуаций, с которыми могут встретиться агроном, зоотехник, экономист, инженер или другой работник сельского хозяйства, причем для выбора наиболее целесообразного поведения в каждой из этих ситуаций машина использует знания, опыт и талант самых квалифицированных специалистов. Компьютер будет действовать как настоящий эксперт-советчик. Положим, агроном наберет на клавишах своего персонального компьютера информацию о состоянии почвы и растений, прогноз погоды, другие необходимые данные, автоматически свяжется с областным вычислительным центром и в результате немедленно получит на дисплее всесторонне обоснованную рекомендацию об оптимальных действиях в реально сложившихся обстоятельствах.

Системы, моделирующие мыслительный процесс эксперта, так и называют – *экспертными*. В них, пожалуй, в наибольшей мере проявляются «умственные способности» вычислительной техники, как раз такие системы в первую очередь имеют в виду, когда заходит речь об «искусственном интеллекте».

Создаваемые для узких и четко определенных профессиональных областей экспертные системы гармонично сочетают в себе три основных элемента: банк данных, систему распознавания образов и набор программ, имитирующих процесс принятия решения специалистом. Банк данных состоит из базы знаний и базы данных. База знаний содержит сведения об установленных наукой и практикой закономерностях, а также типичные ситуации, события, последовательности их развития и рекомендации о со-

ответствующих действиях. Функция экспертной системы сводится к выводу: «ЕСЛИ (ситуация), ТО (рекомендуемое действие)». База данных содержит различные количественные показатели, которые нужны для подготовки решений. Неотъемлемым звеном экспертной системы служат программы, позволяющие компьютеру распознавать конкретную ситуацию и имитировать процесс «понимания» той реальности, с которой она имеет дело.

Система действует по запросу. Желая получить совет, клиент вводит в компьютер начальный набор признаков возникшей ситуации, например данные о состоянии почвы, погоде, качестве семян, готовности техники и т. д., и формулирует вопрос: «Можно ли начинать сев?» Компьютер отнесет сложившуюся ситуацию к одной из типичных и, пользуясь определенными правилами, выдаст ответ-рекомендацию. Если исходных сведений окажется недостаточно для четкого ответа, компьютер может потребовать у пользователя уточнить вопрос и предоставить дополнительную информацию. Между человеком и машиной возникает нечто подобное тому, что мы называем общением.

Очень важным свойством экспертных систем является их способность обучаться, пополнять свой информационный багаж, уточнять правила выработки решений, вносить необходимые поправки. Именно на уровне обучения ЭВМ происходит передача знаний от человека к машине.

Создание и использование экспертных систем началось сравнительно недавно, но уже сегодня они олицетворяют собой одно из главных направлений всемирного процесса компьютеризации.

ЧТО ДАЛЬШЕ? (вместо послесловия)

Пожалуй, подобный вопрос звучит риторически. Как что дальше?! Конечно же, развитие, совершенствование компьютерной техники и последовательное ее распространение. Причем в этом объективном процессе можно выделить три основных направления.

Во-первых, уже сегодня ведутся масштабные и целенаправленные работы по созданию суперЭВМ, обладающих практически неограниченной памятью и способных совершать миллиарды операций в секунду. Во-вторых, организовано массовое, исчисляемое в год миллионами производство небольших, доступных каждому персональных («семейных») компьютеров, выпуск которых в ближайшее время будет постоянно расти, низводя эту мудреную технику буквально до бытового уровня. И, в-третьих, отметим характерную черту процесса компьютеризации – внедрение во все сферы жизни общества новых компьютерных сетей, предоставляющих пользователям широкий спектр разнообразных услуг, обеспечивающих по линиям связи свободный обмен информацией между самими вычислительными машинами и человеком, включая и многочисленных владельцев персональных компьютеров, возможности

которых, таким образом, неизмеримо возрастают.

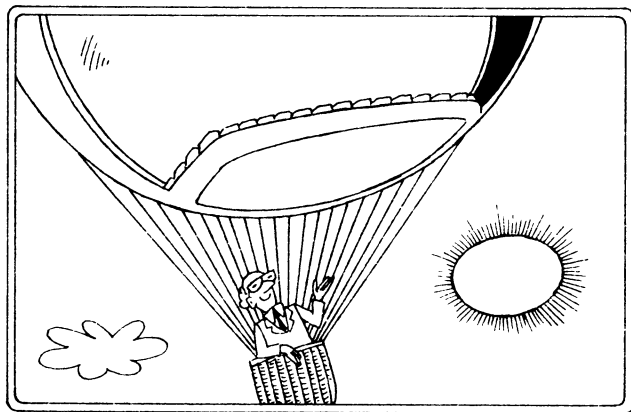
На любом из этих направлений уже сейчас можно отметить выдающиеся достижения, но еще больших свершений следует ожидать в ближайшем будущем. Начнем с рассказа о поиске путей повышения быстродействия ЭВМ, о суперкомпьютерах. Основой эксплуатируемых ныне третьего и четвертого поколений вычислительной техники служит центральный процессор, к которому подключен набор различных периферийных устройств. Предписанные программой операции такой компьютер выполняет последовательно: закончив одну, переходит к другой. Понятно, что для компьютеров, работающих в последовательном режиме, существует естественный предел быстродействия.

Хотя возможности однопроцессорных ЭВМ еще далеко не исчерпаны, ученые и инженеры ищут принципиально новые пути повышения производительности вычислительной техники. Одно из таких направлений – создание многопроцессорных компьютеров, в которых операции выполняются процессорами параллельно, в результате чего существенно сокращается время решения задачи. Достаточно сказать, что разрабатываются ЭВМ, имеющие несколько тысяч параллельно работающих процессоров. Кроме того, такие компьютеры будут более надежны, поскольку неисправность даже нескольких процессоров из тысячи практически не отразится на работе всего устройства.

Гигантский скачок в развитии компьютерной техники связан с поразительными достижениями электроники. Но сейчас во многих странах ведутся интенсивные работы по созданию ЭВМ,

в которых сигналы будут передаваться световыми, а не электрическими импульсами. Не исключено, что к концу века оптическая техника придет на смену еще столь молодой электронике. Интерес к этому чрезвычайно перспективному научно-техническому направлению наметился лет пятнадцать назад, когда было освоено производство сверхтонких силиконовых волокон, обладающих исключительной прозрачностью. Пучки таких волокон – световоды – позволяют передавать световые импульсы на большие расстояния практически без искажений. Оптические линии начинают широко использоваться в системах связи, вытесняя обычные, световодные кабели уже пересекли океаны, обеспечивая надежную связь между континентами.

Использование световых сигналов в компьютере взамен электрических обещает немалые преимущества и в первую очередь значительно увеличит его быстродействие.



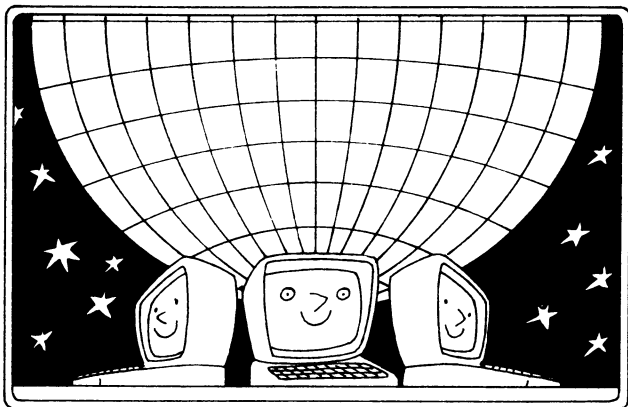
Может возникнуть вопрос: зачем увеличивать быстродействие ЭВМ, которые и сейчас выполняют операции с умопомрачительной быстротой? Миллионы операций в секунду! Нужна ли такая скорость счета? Но дело в том, что для решения многих сложных проблем приходится манипулировать огромными массивами информации. Например, точность прогноза погоды, особенно долгосрочного, прямо зависит от мощности используемых компьютеров – слишком много факторов приходится учитывать, чтобы правильно предсказать развитие метеорологических условий. Только на суперЭВМ удастся моделировать протекание глобальных климатических явлений, происходящих на нашей планете. То же самое можно сказать и об экономических процессах, особенно в масштабах страны или крупного региона: чтобы их хорошо спланировать, предугадать последствия тех или иных действий, нужна помощь сверхмощных компьютеров. СуперЭВМ позволяют моделировать многие физические, химические и биологические явления, создавать и изучать «искусственные реальности», максимально приближенные к действительности. Сверхбольших объемов вычислений требуют проблемы, связанные с распознаванием образов, с искусственным интеллектом, с использованием экспертных систем.

Важную роль призваны сыграть суперЭВМ и в сельском хозяйстве, где, как мы уже отмечали, приходится оперировать огромным количеством разнородных данных, решать вероятностные задачи, характерная черта которых – влияние множества случайных факторов, значительная неопределенность.

Но, пожалуй, наиболее яркое проявление компьютерной революции обнаруживает себя даже не в появлении сверхмощных вычислительных машин, а в массовом проникновении сравнительно простых, дешевых персональных компьютеров и микроЭВМ во все сферы повседневной жизни и деятельности людей. Недаром печать буквально пестрит сообщениями о все новых областях применения ЭВМ в науке, на производстве и в быту. ЭВМ берут на себя управление технологическими процессами и оборудованием, микрокомпьютерами оснащаются животноводческие фермы, теплицы, склады, сельскохозяйственная техника, персональная вычислительная техника становится рабочим инструментом руководителя и специалиста.

Справедливо говорят, что ЭВМ увеличивают интеллектуальную мощь общества. И тут еще раз надо сказать о компьютерных сетях и банках данных.

Человечество переживает сейчас такой этап своего развития, когда производство становится все более наукоемким. Знания, добытые наукой, приобретают главенствующее значение в деятельности людей, становятся неизменным условием и основой дальнейшего прогресса во всех сферах нашей жизни. Новейшая история цивилизации с очевидностью свидетельствует об этом. Когда-то промышленная революция преобразовала ручные инструменты в машины, а ремесло – в индустрию, многократно увеличив производительную мощь человека. Современная научно-техническая революция превращает науку в непосредственную созидательную силу общества. В этой ситуации расширение доступа к накопленным знаниям, активное их использо-



вание следует рассматривать как важнейший резерв экономического и социального развития.

И сразу же возникает сложная проблема. Ведь на ведущих научных направлениях объем знаний удваивается за 5–7 лет. Справиться с такой лавиной информации «в одиночку» человек уже не в состоянии. Научно-техническая революция словно бы бросает нам вызов, обрушивая могучий поток открытий, изобретений, новых фактов. Но она же и предлагает соответствующие возможности. Именно ЭВМ и компьютерные сети с банками данных должны открыть нам неограниченный доступ к сокровищнице человеческих знаний.

... Мир вступил в компьютерную эру. Человек создал для себя удивительного «интеллектуального» помощника и уже не может без него обойтись. Остается только пожелать: «Трудись, компьютер!»

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
Глава 1. ВЕК ИНФОРМАЦИИ	9
Сложность – проблема современности	9
Информационная революция	16
Информация вообще и в частности	20
Знание – сила	30
Глава 2. КОМПЬЮТЕР	37
Его структура	37
Компьютерная арифметика	42
Немного о программировании	48
Смена компьютерных поколений	52
Победное шествие	66
Глава 3. УПРАВЛЕНИЕ	75
Бремя власти	75
Модель	84
Три функции управления	90
Парадоксы времени	99
Компьютер в системе оперативного управления	107
Что такое АСУ?	115
Глава 4. ЗАЯВКУ НА МАШИНЫ СОСТАВЛЯЕТ КОМПЬЮТЕР	123
Оптимизация в трех сферах	123
Линейное программирование	129
Оптимальный машинный парк	135
Система машин	145
Глава 5. ПАРАДОКСЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА	149
Теория очередей	149
Надежность машины	156
Парадокс первый	162
Парадокс второй	165
Оптимизация системы технического сервиса	168
Еще один парадокс	172

Глава 6. КОМПЬЮТЕР ДЛЯ «АГРО» И «ЗОО»	175
Компьютер помогает агроному	175
Компьютер помогает зоотехнику	182
Динамическое программирование	187
Глава 7. СЕМЬ РАЗ ОТМЕРЬ...	193
Статистика знает все	193
Мера правдоподобия	199
Какая завтра будет погода?	208
Глава 8. РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ	215
Как мы узнаем своих знакомых?	215
Компьютер учится читать	220
Компьютер ставит диагноз	223
Электронный эксперт	228
Что дальше? (вместо послесловия)	232

Павлов Борис Васильевич

ТРУДИСЬ, КОМПЬЮТЕР!

Зав. редакцией *Т. С. Микаэльян*

Художник *Е. А. Шабельник*

Художественный редактор *Е. Г. Прибегина*

Технический редактор *Н. Н. Зиновьева*

Корректор *В. Н. Маркина*

ИБ № 6118

Сдано в набор 03.04.90. Подписано к печати 10.08.90.
Формат 70 × 100^{1/32}. Бумага офсетная № 1. Гарнитура тип.
таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,75. Усл. кр.-отт. 10,07.
Уч.-изд. л. 9,10. Изд. № 179. Тираж 91 500 экз. Заказ № 440.
Цена 60 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО «Агропромиздат»,
107807, ГСП-6, Москва, Б-78, Садовая-Спасская, 18

Можайский полиграфкомбинат В/О «Совэкспорткнига»
Государственного комитета СССР по печати.
г. Можайск, ул. Мира, 93.

60 коп.

