

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

СЕРИЯ «НАУКА И ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС»

КИБЕРНЕТИКА

НЕОГРАНИЧЕННЫЕ
ВОЗМОЖНОСТИ
И ВОЗМОЖНЫЕ
ОГРАНИЧЕНИЯ

СОВРЕМЕННОЕ
СОСТОЯНИЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1980

К38 Кибернетика — неограниченные возможности и возможные ограничения. Современное состояние. — М.: Наука, 1980.— 208 с.

В статьях отечественных и зарубежных ученых на основе анализа развития кибернетики оцениваются взгляды так называемых «отчаянных кибернетиков», убежденных в неограниченных возможностях кибернетики и ЭВМ, считавших возможным подменить кибернетикой все другие конкретные и абстрактные науки. Подводятся некоторые итоги развития кибернетики более чем за четверть века.

Редакционная коллегия:

академик А. И. БЕРГ,
член-корреспондент АН СССР А. Г. СПИРКИН,
доктор философских наук Б. В. БИРЮКОВ.

Редактор-составитель В. Д. ПЕКЕЛИС

Издательство «Наука», 1980 г.

30501—004

К _____ БЗ—96—32—78.НП 1 502 000 000

054(02)—80

ТРИДЦАТЬ ЛЕТ СПУСТЯ

(Вместо предисловия)

Сборник статей советских и иностранных ученых «Кибернетика. Современное состояние» представляет собой вторую из трех книг, объединенных общим названием «Кибернетика — неограниченные возможности и возможные ограничения».

Первая книга — [«Кибернетика. Итоги развития»](#) в основном состоит из статей, отражающих мнение о кибернетике, господствовавшее в 50—60-х годах. В них раскрывается существо дискуссий того времени и представлены некоторые прогнозы ученых, сделанные на заре развития новой науки.

Третья книга — «Кибернетика. Перспективы на будущее» рассказывает о предполагаемых направлениях развития кибернетики. Основу ее составляют статьи, посвященные вопросу «искусственного интеллекта» и роли кибернетики в решении важных проблем, связанных не только с обозримым, но и с отдалённым будущим.

Сборник «Кибернетика. Современное состояние» как бы подводит итоги развития кибернетики за 30 лет. И хотя это весьма небольшой срок в истории науки, кибернетика достигла многих успехов, повлиявших на развитие современной науки и техники. Кибернетические устройства моделируют технологические процессы и управляют ими, планируют производство, ведут учет материалов, рабочей силы, зарплаты, управляют разными видами транспорта на земле, на суше, на море и аппаратами в космосе, регулируют уличное движение, решают сложнейшие математические задачи, разгадывают зашифрованные тексты, решают стратегические задачи, могут играть в шахматы и т. д.

Кибернетика нашла применение в биологии и медицине для исследования физиологических, в частности генетических, процессов, для диагностики заболеваний, для замены (во время операции или болезни) внутренних органов саморегулирующимися устройствами, а также для протезирования. От кибернетики отпочковалась новая научная дисциплина бионика, изучающая возможности использования для техники закономерностей, способов управления, передачи, переработки, хранения информации, встречающихся в живых организмах. Наконец, кибернетика снабжает науки, изучающие психику (педагогика, психологию, психиатрию, гносеологию), методами исследования, которые должны помогать этим наукам, как и биологическим, достигнуть строгости математической науки.

Кибернетика помогает не только технике, естествознанию, но и общественным наукам. Ее методами пользуются и политэкономия, и право, и лингвистика, и логика. Кибернетика становится все более и более «агрессивной» по отношению к другим наукам, технике, производству, сельскому хозяйству и даже быту и жизни человека. Этому способствует сегодня не только успешное развитие теоретических работ, но и совершенствование технической основы, кибернетики: высших автоматов, электронных вычислительных машин, различных математических электронных устройств, мощных информационных комплексов.

Кибернетические устройства — это уже не просто вычислительные машины: их практическое применение гораздо шире. Новейшие кибернетические машины произвели подлинную революцию в науке и технике. Быстродействие и память ЭВМ третьего поколения таковы, что дают возможность качественно преобразовать труд специалистов, увеличивают творческие возможности человека. Возникают своего рода человеко-машинные системы, объединяющие жесткость формальной логики электронных вычислительных машин с гибкостью мышления человека. Это уже не просто применение в труде более совершенного, чем раньше, инструмента, а качественно новое развитие творческого труда, особенно исследователя и научного работника.

В последние годы развилось и такое мощное средство управления, как АСУ — автоматизированные системы управления. Они также представляют собой не просто средство переработки информации: сбора ее и передачи, автоматизации трудоемкого бухгалтерского учета, обработки документации, но, что главное, поднимают на более высокую качественную ступень само управление, обеспечивая своевременное принятие правильных решений.

Книга «Кибернетика. Современное состояние» охватывает широкий круг вопросов: роль вычислительной техники в научно-техническом прогрессе; новые пути решения проблем управления; методы применения электронных вычислительных устройств в научных исследованиях и разработках; вопросы надежности в живой природе и технических устройствах. Обсуждаются сложные проблемы: термодинамика — кибернетика — жизнь, возможности моделирования мозга как сверхсильной системы управления и переработки информации. Рассматривается ряд нетривиальных тем, таких, как возможная роль интеррогативной логики и формализация этических понятий в разработке кибернетических усилителей интеллекта, морально-этические проблемы, связанные с применением кибернетики, а также проблема связи творчества и кибернетики.

К некоторым статьям этого сборника необходим небольшой комментарий.

Хотелось, чтобы читатель с определенной долей осмотрительности отнесся к стремлению некоторых авторов достигнуть предельных по своим возможностям обобщений за счет недопустимого уровня абстракции. Почему-то до недавнего времени в кибернетике это не всегда подвергалось критике. Необходимо обратить внимание и на некоторые терминологические «неувязки», существующие пока еще в кибернетике. Они порождены чаще всего механическим перенесением в новую науку уже готовых философских терминов и понятий.

Так, при чтении статьи К. Фиалковского «[Машинный эксперимент](#)» из-за нечеткой терминологии может создаться впечатление, что речь идет о моделировании конкретной биологической эволюции. В действительности же в эксперименте подход к проблеме осуществляется на предельном уровне абстракции. Моделируется эволюция как процесс, протекающий определенно долгое время, наблюдаемый с помощью ЭВМ за определенно

короткое время. Автор сам подчеркивает, что его модель «нельзя считать моделью какой-либо биологической эволюции». И тем более, добавим мы, он не делает попыток раскрыть диалектику случайного и необходимого, ибо пользуется всего лишь формально-логическими приемами.

В статьях, затрагивающих морально-этические вопросы, заметны дискуссионные моменты. Проблема формализации этических категорий не так проста (даже в той весьма ограниченной форме, в которой она возможна), как это представляется на первый взгляд. Интересен сам по себе подход кибернетики к чисто человеческим, общественно-социальным проблемам, хотя этические, нравственные отношения — лишь одна из составляющих сложной системы общественных отношений. Выясняется, что определить меру применения математики и кибернетики к природе нравственного весьма сложно и что вряд ли кибернетика, как утверждают ее отчаянные приверженцы, «достаточно убедительно показала приложимость кибернетического подхода к моральным проблемам личности».

В статье Я. Мигдальского «Эра надежности» не в полной мере представлен кибернетический аспект надежности; между тем, проблема надежности, возникшая до эпохи кибернетики, в настоящее время уже не отделима от ее идей и методов.

Возможно, вопрос «моделирование мозга — фантазия или реальность?» сегодня уже не должен возникать (как считают апологеты кибернетики). Однако в сборник включена под таким названием статья директора Института бионики Польской академии наук Р. Гавронского, в которой делается попытка ответить сразу на несколько вопросов: о цели построения моделей мозга; располагаем ли мы данными для построения таких моделей; какие функции нервной системы уже моделируются и какие мы сможем моделировать в будущем.

Чтобы дать читателю информацию «из первых рук», в сборник включены статьи квалифицированных специалистов, занимающихся вопросами развития науки. При этом ставилась цель как можно шире охватить различные проблемы (не только кибернетические, но и относящиеся к смежным отраслям).

В. Пекелис

**С ПОЗИЦИЙ
СЕГОДНЯШНЕГО
ДНЯ**

ПОДВОДЯ ИТОГИ

ЛЕОН БРИЛЛЮЭН

А. И. БЕРГ, Б. В. БИРЮКОВ

Н. П. БУСЛЕНКО, В. Н. БУСЛЕНКО

ЭВМ И НАУКА

КАРЛ ХАММЕР

А. А. САМАРСКИЙ, Ю. П. ПОПОВ

КОНРАД ФИАЛКОВСКИЙ

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ

В. К. КАБУЛОВ

ФРАНЦ ЛЕЗЕР

В. Д. ПЕКЕЛИС

ПОДВОДЯ ИТОГИ

ТЕРМОДИНАМИКА — КИБЕРНЕТИКА — ЖИЗНЬ

ЛЕОН БРИЛЛЮЭН

Как может существовать жизнь в мире, который управляется таким физическим законом, как Второе начало термодинамики? Законом, ведущим прямо к смерти и уничтожению?

Этот вопрос давно уже задавали себе многие ученые, в частности швейцарский физик С. Гюи, изложивший свои соображения по этому поводу в очень интересной книге «Физико-химическая эволюция». Эта же проблема обсуждалась в 1938 г. на научной конференции в Коллеж де Франс; собравшиеся там физики, химики и биологи пытались согласовать свои точки зрения. Окончательного согласия они так и не достигли, но к концу дискуссии удалось выделить три довольно хорошо определившиеся группы мнений:

А. Наши нынешние познания в физике и химии в основном полны, и известные нам физические и химические законы должны вскоре привести к выяснению феномена жизни, не прибегая к какому-либо специальному «жизненному началу».

Б. Конечно, в физике и химии мы уже знаем очень многое, но утверждать, будто мы знаем в этой области все, было бы самонадеянно. Допустимо, что среди предстоящих открытий

будут именно те, которые позволят нам понять феномен жизни. Жизнь не противоречит уже известным физическим и химическим законам, но в то же время показывает, что нужно узнать еще что-то, чтобы понять это явление. И неважно, назовем ли мы то, что должны узнать, «жизненным началом» или еще как-нибудь.

В. Феномен жизни невозможно понять, не прибегая к «жизненному началу». Поведение живых организмов принципиально отличается от поведения, свойственного неживой материи. Наши законы термодинамики, особенно Второй, относятся только к мертвым, инертным объектам; жизнь этому закону не подчиняется, а новое «жизненное начало» должно будет выявить те условия, в силу которых жизнь противоречит Второму закону термодинамики.

Еще одно обсуждение этой проблемы происходило в 1946 г. в Гарварде, но привело к тем же результатам и подтвердило такое же расхождение мнений.

Излагая вкратце эти три точки зрения, я ввел, конечно, известные упрощения; насколько помню, мнения А и Б были сформулированы достаточно ясно и недвусмысленно. Что же касается мнения В, то его никто не осмелился сформулировать так четко и ясно, как это сделал я. Однако если вспомнить некоторые высказывания или туманные намеки, допущенные в дискуссии, то покажется очевидным, что их источником была именно такая точка зрения. На чем она основана?

Будем рассуждать следующим образом. Вот перед нами живой организм. Он обладает некоторыми особенностями, позволяющими ему избегать гибели, залечивать ранения и вылечиваться от случайных болезней. Станный образ действий, особенно если вспомнить, что у неживой материи ничего такого не наблюдается. Является ли такой образ действий исключением из Второго закона термодинамики? Похоже на то, по крайней мере внешне. Значит, мы должны приготовиться к тому, чтобы признать какой-то «жизненный принцип», позволяющий в некоторых случаях не подчиняться Второму закону; а именно этот закон требует полного уничтожения живого организма. Тогда у организма исчезает устойчивость к болезням, способность к заживлению ран — распад идет неудержимо и заканчивается в очень короткие сроки.

Итак, мы приходим к выводу, вернее к вопросу: как относится жизнь ко Второму закону термодинамики? Не дремлет ли в организме какая-то сила, позволяющая ему противостоять этому закону?

О научном отношении

Указанные выше группы мнений можно сравнить с тремя типами отношения ученых к проводимым ими исследованиям:

А. Отношение явно консервативное, не желающее никаких перемен, заинтересованное только в развитии и применении хорошо обоснованных методов и принципов.

Б. Отношение прогрессивное, свойственное ученым с открытым мышлением, способным воспринять новые открытия и идеи.

В. Отношение восторженное, с сильной склонностью к поспешным выводам и к удовлетворению теориями, не имеющими прочного экспериментального фундамента.

В упомянутой дискуссии большинство неспециалистов примкнуло к группе Б. Это легко понять, учитывая, что для физиков нашего века характерно ощущение «неведомого» и что они постоянно должны остерегаться излишней самоуверенности.

Выдающиеся ученые старшего поколения — соответствующего началу нашего века — почти все относятся к группе А, т. е. разделяют распространенное в их эпоху мнение, что все уже познано и что будущим поколениям ученых останется только совершенствовать эксперименты и повышать точность измерений на одну-две дальнейшие цифры в значениях физических постоянных. А ведь вскоре после этого были открыты кванты, теория относительности, радиоактивность...

Итак, для группы А характерна осторожность. Прежде чем отказываться от безопасной позиции прочно установившихся понятий, говорит осторожный физик, нужно доказать, что эти понятия, в сущности, не подтверждаются экспериментально. Именно так обстояло дело с опытом Майкельсона и Морли. И именно эти двое физиков были особенно упорными в неприятии теории относительности.

Отношение Б является, по-видимому, более конструктивным; оно свойственно некоторым тенденциям в научных исследованиях, характерных для прошлых столетий. Отношение типа В, несмотря на несколько мистический оттенок, тоже не лишено оснований и не остается бесплодным. Мы знаем много примеров новых открытий, приводивших к значительному ограничению ранее известных «законов». Кроме того, научный закон или принцип — это не «Декрет», установленный какой-то сверхприродной силой, а выражение систематизации какого-то количества экспериментальных данных. Следовательно, пределы действия такого закона ограничены — он охватывает всю область эксперимента (и, быть может, кое-что сверх того), но мы должны быть готовыми к самым странным видоизменениям его, как только наши знания охватят более широкую область, чем охватывает самый закон. В подтверждение этому можно привести немало примеров из истории. Классическая механика когда-то была одной из самых обоснованных теорий. Но ей пришлось видоизмениться, когда она должна была описать поведение сверхбыстрых частиц (теория относительности), структуру атома (квантовая теория), явления космического масштаба.

Чтобы вернуться к проблеме жизни и термодинамики, обратимся к более оригинальной линии рассуждений, представленной в книге знаменитого физика Эрвина Шредингера «Что такое жизнь?». Это линия очень интересная, и здесь можно найти много тонких наблюдений. Некоторые из них мы обсудим. Согласно приведенной нами классификации, Шредингер несомненно относится к группе Б. Он говорит: *«Не следует ожидать, что «законов физики», полученных из него [т. е. Второго начала термодинамики] и его статистической интерпретации, будет нам достаточно, чтобы найти простое объяснение поведению живой материи... Мы должны быть готовыми искать физический закон нового типа, управляющий этим явлением. И неважно, назовем ли мы его нефизическим или сверхфизическим»*. Причины, по которым Шредингер занял именно такую позицию, он очень хорошо изложил сам, так что заниматься ими сейчас не нужно. Тот, кто решит проработать его книгу, найдет там много материалов для размышления и дискуссии. Здесь укажем только, что речь идет о проблеме «Жизнь и Второй закон термодинамики». И выводы здесь не самоочевидны. Итак, приступим теперь к обсуждению этой проблемы.

Второй закон термодинамики: успехи и неудачи

Никто не может усомниться в правильности Второго закона термодинамики больше, чем это возможно, например, относительно основных законов механики. Проблемой тут является, однако, уточнение пределов применимости этого закона — тех отраслей науки или того класса проблем, к которым он приложим наверняка. Будем же обращать особое внимание на все те случаи, когда этот закон «отделяется молчанием». Характерная черта Второго закона состоит в том, что ему придана форма неравенства. Некоторая физическая величина, называемая *энтропией*, не может уменьшаться (в определенных условиях, которые будут уточнены ниже), но мы не знаем, когда она остается постоянной, когда увеличивается и с какой скоростью увеличивается. Именно поэтому ответы, которые нам дает Второй закон, нередко носят уклончивый, двусмысленный характер. Нам ничего не известно о каком бы то ни было физическом эксперименте, противоречащем Второму закону, но столь же легко мы можем найти и много примеров, когда этот закон бесполезен. Попытаемся же систематизировать эти ограничения и недостатки Второго закона, так как именно ими обозначаются пределы области, в которой господствует жизнь.

Оба закона термодинамики относятся только к изолированным системам, замкнутым в сосудах, в которые не может проникнуть ни тепло, ни излучение; стенки такого сосуда не позволяют производить какую-либо работу с этой системой и не пропускают материю ни в том, ни в другом направлении. Первый закон термодинамики гласит, что общая энергия такой системы остается постоянной. Второй же закон оперирует другой величиной, так называемой энтропией (S), которая в такой системе должна возрасти или хотя бы оставаться постоянной, — уменьшаться она ни в коем случае не может. Эту ситуацию можно было бы объяснить и иначе: в такой системе *количество* энергии сохраняется, зато не сохраняется ее *качество*. Энергия может принимать «высококачественную» форму, т. е. такую, которую можно превратить в механическую работу или в работу электрического поля (речь идет, например, об энергии сжатого воздуха или заряженного электрического аккумулятора); существуют, однако, и «низкокачественные» формы энергии, например теплота. Поэтому Второй закон иногда считают законом «деградации» энергии, так как рост энтропии означает снижение «качества» общей энергии, содержащейся в изолированной системе.

Рассмотрим некоторую химическую систему (например, электрическую батарею) и измерим ее энтропию. Потом опечатаем ее и оставим на некоторое время в покое. Если потом систему вскрыть и снова измерить ее энтропию, то окажется, что последняя в известной мере увеличилась. Если перед опечатыванием батарея была полностью заряжена, то теперь мы увидим, что она потеряла часть своего заряда и уже не может выполнить такое же количество работы, какое могла раньше. Это изменение может быть маленьким или его может вовсе не быть — достоверно лишь то, что в процессе хранения батарея не могла увеличить свой заряд, так как для этого в системе должны были бы произойти какие-то добавочные химические реакции, создающие определенный избыток энергии.

Однако жизнь основана на «высококачественной» энергии, иначе говоря, на «*отрицательной энтропии*» (Шредингер): уменьшение «высококачественной» энергии для живых организмов равнозначно отсутствию питания. Иначе говоря, живые организмы систематически расходуют высококачественную энергию, становясь таким образом одним из механизмов действия Второго закона. Предположим, например, что у нас есть живые клетки, остающиеся в строгой изоляции. Легко можно убедиться, что некоторое время они еще будут способны питаться благодаря доступным для них запасам энергии; однако рано или поздно эти запасы будут исчерпаны и наступит неотвратимая смерть.

Таким образом, Второй закон говорит о смерти *вследствие изоляции*.

Жизни непрестанно угрожает смерть, и единственный способ избежать ее состоит в том, чтобы избегать изоляции. Существование понятия «полной изоляции» предполагает существование способов, могущих обеспечить такую изоляцию,— значит, должны существовать идеальные стенки, способные воспрепятствовать какому бы то ни было перемещению материи. Но знаем ли мы какой-либо способ построить такую «непроницаемую стенку», которая не пропускала бы внутрь никакого излучения, не выпускала бы никакого излучения наружу? Теоретически это почти невозможно. Практически же это осуществимо в любой физической или химической лаборатории. Правда, тут возникает некоторое ограничение применимости Второго закона, если мы имеем дело с очень жестким излучением (например, космическим или жестким гамма-излучением), но я не думаю, чтобы такое излучение было как-нибудь связано с проблемой жизни; поэтому здесь нет надобности обсуждать такие случаи.

Время и Второй закон термодинамики

Второй закон термодинамики действительно равносителен смертному приговору, но это приговор, совершенно неопределенный во времени, и именно в этом состоит его самая странная черта. Второй закон гласит, что в замкнутой системе энтропия (S) будет возрастать, а «высококачественная энергия» — убывать. Нельзя предвидеть, однако, с какой скоростью это будет происходить. Нужно даже добавить ту возможность, что в системе вообще не будет ничего происходить, и величина S будет оставаться постоянной. Итак, Второй закон — это словно стрела, летящая все время в одну сторону, где нет ни нижнего, ни верхнего предела скорости. Химическая реакция может произойти за долю секунды, но может затянуться и на миллионы лет.

Хотя время не является фактором, явно входящим в состав Второго закона, но между этим законом и определением времени существует известная связь. Одна из важнейших характеристик времени — его *необратимость*: время идет и никогда не поворачивает вспять. Физиков этот факт наполняет изумлением. Все физические законы принципиально обратимы, т. е. зависят от времени, но не от его знака. Все они с таким же успехом могли бы действовать и в обратном направлении. Единственной физической ситуацией, в которой мы встречаемся с понятием о необратимости времени, является именно Второй закон термодинамики и связанные с ним физические явления (трение, диффузия, перепад энергии); Этот закон, как мы уже видели, постулирует, что время всегда идет в одном направлении и не может повернуть обратно. Если бы в нашей изолированной системе, где величина энтропии (S) возрастает, время можно было повернуть вспять, то энтропия начала бы уменьшаться, а это невозможно, так как всякая эволюция идет только в одном направлении...

Это фундаментальное наблюдение сделали уже создатели термодинамики. Так, лорд Кельвин описал его следующим образом:

«Если бы Природа могла повернуть вспять.

...Поэтому если бы движение каждой частицы материи во Вселенной стало вдруг совершаться в обратном направлении, то тем самым пошли бы вспять и все процессы в природе. Пенные буруны у подножия водопада снова превратились бы в воду; тепловые движения молекул снова превратились бы в энергию и взметнули свои массы вверх, сливаясь в сплошную, бьющую вверх струю воды. Теплота, возникшая при трении тел и рассеявшаяся вследствие теплопроводности и излучения, а затем поглощенная, собралась

бы снова в точке соприкосновения этих тел, а тогда отбросила бы их друг от друга с такой же силой, какая раньше была к ним приложена. Каменные глыбы вернули бы себе из болот материалы, нужные им для восстановления прежней угловатой формы, а потом воссоединились бы с горным хребтом, от которого некогда отвалились. А если верна и материалистическая гипотеза о возникновении жизни, то и живые существа начали бы развиваться обратно, — сохраняя знание о будущем, но лишенные памяти о прошлом, — пока не превратились снова в нерожденных.

Однако реальные феномены жизни бесконечно превышают человеческую науку, и размышлять о таком воображаемом обратном развитии совершенно бессцельно.

Движения же материи, не связанные с жизнью, обратимы. Элементарное обсуждение их может привести нас к полному выяснению теории рассеяния тепла».

Это блестящее наблюдение окончательно укрепляет нас в том убеждении, что лорд Кельвин тоже относился к группе Б, ибо он уверен, что в феномене жизни есть что-то недоступное для нашей нынешней науки. Для приведенного лордом Кельвином описания предлагались различные иллюстрации. В кино мы можем наблюдать водопады, устремляющиеся вверх, или прыгунов, выскакивающих из воды прямо на трамплин; в принципе, однако, кинооператоры опасаются показать на экране жизнь, идущую «задним ходом», быть может, из страха перед цензорами. Во всяком случае это поразительное совпадение: именно жизнь и Второй закон термодинамики являются двумя важнейшими примерами невозможности обратного хода времени, что указывает на какую-то внутреннюю связь между ними. Однако эту проблему мы рассмотрим позже.

Статистическое толкование Второго закона термодинамики

Естественную тенденцию энтропии к росту истолковывают в настоящее время как проявление развития структур от менее вероятных к более вероятным. Теория, блестяще развитая Больцманом, Гиббсом и Максвеллом, объясняет энтропию как физическое выражение «вероятности» и бросает яркий свет на все термодинамические процессы.

Именно эта сторона проблемы очень хорошо рассмотрена и выяснена в книге Шредингера, так что повторять ее здесь не нужно.

Остановимся, однако, на одном особенно интересном вопросе. В статистической теории энтропия получает очень точное математическое выражение как логарифм вероятности. Этот логарифм можно рассчитать теоретически, если у нас есть данная физическая модель. Затем расчетную величину можно сравнить с экспериментальной.

Если окажется, что все сошлось, то эту же физическую модель можно использовать для анализа проблем, выходящих за рамки классической термодинамики, и, в частности, проблем, связанных со временем. Оказывается, что скорость диффузии газов в смеси, теплопроводность газов или скорость химических реакций можно рассчитать теоретически.

В этой области уже сделаны большие успехи, и во многих случаях мы можем определить, с какой скоростью будет возрастать энтропия. Как и следует ожидать, можно будет найти соответствующие модели для всех важнейших физических и химических проблем; но они еще не найдены, и нам пока приходится различать те проблемы, для которых уже

разработаны методы применения статистической термодинамики, и те, для которых модели еще не удалось найти и при исследовании которых мы должны довольствоваться классической термодинамикой. В первой из этих групп подробная статистическая модель позволяет ответить на самые сложные вопросы; во второй — вопросы, связанные со временем, пока вообще нельзя рассматривать.

Деление на два класса экспериментов, в которых энтропия остается постоянной

Как мы уже говорили, в замкнутой системе энтропия должна, как минимум, оставаться постоянной. Если она возрастает, то в системе происходят необратимые изменения; если же эти изменения обратимы, то энтропия остается постоянной; к этому классу относятся обратимые циклы, рассматриваемые в учебниках термодинамики, или обратимые химические реакции.

Однако есть еще один случай, в котором изменений энтропии не наблюдается,— случай, обычно игнорируемый, о котором мы не найдем в учебниках ни единого слова просто потому, что ученые не могут найти ему объяснения. Это случай *неустойчивого равновесия*. Эту проблему легче пояснить на примерах,

Газовый кран в кухне закрыт неплотно. Просачивающийся газ смешивается с воздухом, образуя однородную смесь (неустойчивое равновесие). Ничего другого не происходит, пока в кухню не войдет какой-нибудь озорной малыш и не зажжет спичку, отчего весь дом взлетит в воздух. Вместо газа можно взять нефть, уголь или любой другой вид горючего: все наши запасы горючего находятся в состоянии неустойчивого равновесия. Камень может лежать на склоне горы годами, пока дожди не вымоют из-под него грунт, и тогда он скатится вниз. Если взять водопады или водохранилища, то мы будем иметь дело с запасами «белого угля». Уран оставался стабильным и спокойным миллионы лет, пока не появилась группа ученых, которые построили атомный котел, атомную бомбу и — как мальчишка-озорник в кухне — взорвали целый город.

Все это было бы невозможно, если бы Второй закон термодинамики был *активным*, а не *пассивным* принципом. Такие случаи не могли бы произойти в мире, в котором этот закон соблюдался бы строго.

Все эти рассуждения ведут к одному очевидному заключению: наши энергетические запасы сводятся к физическим системам, находящимся в состоянии *неустойчивого равновесия*. В действительности они являются запасами *отрицательной энтропии* — структурами, в которых «законный» рост энтропии каким-то чудом не происходит, пока не появится человек, развязывающий реакцию вследствие своего *каталитического воздействия*.

О таких системах, находящихся в состоянии неустойчивого равновесия, мы знаем очень мало. Никаких объяснений для них нет. Ученые на эту тему могут сказать лишь несколько невразумительных фраз о помехах, задерживающих реакцию, или о барьерах потенциала, стоящих между системами, которые должны были бы реагировать между собою, но почему-то не реагируют. В этих туманных намеках, в сущности, есть зерно, и если развить его надлежащим образом, то оно может превратиться в полезную теорию. Несколько очень интересных опытов, основанных на истолковании катализа с помощью квантовой механики, вызвали в научных кругах большое возбуждение.

Остается, однако, нерешенным основной вопрос: *Как могло случиться, что такие большие запасы отрицательной энтропии остались нетронутыми? Каков механизм этого отрицательного катализа, если он смог сохранить в целости такие мощные запасы энергии?*

Жизнь и ее связи со Вторым законом термодинамики

В связи с изложенными выше проблемами возникло еще несколько чрезвычайно важных вопросов. Рассмотрим их один за другим в общем контексте проблемы механизма поддержания жизни.

Замкнутые системы. Во многих справочниках — иногда даже самых лучших — можно столкнуться с не очень ясным описанием проблемы роста энтропии. Обычно там встречаются утверждения типа: «энтропия Вселенной непрерывно растет». По моему мнению, такая формулировка выходит далеко за пределы наших современных познаний. Разве мы уже знаем, ограничена наша Вселенная или нет? Если ограничена, то каковы свойства этой границы? А знаем ли мы, замкнута наша Вселенная или нет? Поступают ли энергия и энтропия в нее или выходят из нее?

Не стоит, вероятно, говорить, что ответить на эти вопросы невозможно. Мы знаем, что Вселенная расширяется, но очень мало знаем о том» как и почему это происходит. Расширение — это своего рода разрушение границ, т. е. их «таяние»¹. Значит, ни энергия, ни энтропия не могут оставаться в их рамках постоянными. Лучше всего не говорить здесь вообще об «энтропии Вселенной». Выше мы упоминали об ограниченности физических законов и о том, что они надежно применимы лишь в определенных границах и в определенных масштабах величин. Вселенная как целое слишком велика для термодинамики и, наверное, выходит за пределы масштабов, в которых термодинамические законы могут быть применимыми. Доказательством этому мог бы служить тот факт, что теория относительности и все космологические теории, на ней построенные, всегда требовали абсолютного пересмотра и коренных изменений в термодинамических законах, чтобы эти последние можно было прилагать ко Вселенной как целому.

Итак, единственным разумным объектом дискуссии может быть в этом случае только энтропия некой воображаемой замкнутой структуры. Вместо того чтобы говорить

О весьма загадочной Вселенной, поговорим лучше о том, что нам ближе,— о Земле. Здесь-то мы всегда стоим на твердой почве.

Земля — это не замкнутая система: она постоянно получает отрицательную энтропию и энергию извне (сюда относятся тепловое излучение Солнца, гравитационная энергия от Солнца и Луны, вызывающая океанские приливы, затем космическое излучение из неизвестных источников и т. д.). Наблюдается также и некоторое уменьшение этих величин, так как Земля тоже излучает энергию и энтропию. Каким же оказывается окончательный баланс этих величин? Положительный он или отрицательный? Чрезвычайно сомнительно, чтобы какой-либо ученый смог ответить на этот вопрос. Тем менее вероятным кажется, чтобы на него можно было ответить в масштабе всей Вселенной.

Итак, жизнь ведет себя как катализирующий фактор, способствующий процессам разрушения всех структур, находящихся в состоянии неустойчивого термодинамического равновесия. Однако это катализатор очень своеобразный — он «выигрывает» от хода вызванной им реакций. Если для развязывания химической реакции применить платиновый катализатор, то платина «не заинтересована» в ее ходе и ничего от этой реакции не выигрывает. Живое же существо заинтересовано в пище, так как, используя ее, может поддерживать состояние собственного неустойчивого равновесия. К этому факту мы еще вернемся в нашей дискуссии.

Из приведенных рассуждений можно в конце концов сделать тот вывод, что приговора «смерть через изоляцию» в мире живых существ можно избежать, если этот мир является неограниченной и незамкнутой системой.

Роль времени. Мы уже упоминали о случаях «молчания» Второго закона термодинамики. Мы также знаем, что если ход каждой реакции бывает задан, то ее скорость остается неопределенной: она может быть нулевой (неустойчивое равновесие), малой или очень большой. Катализаторы служат обычно для увеличения скорости реакций. Найдено, однако, несколько примеров «антикатализа», или «отрицательного катализа», т. е. замедления некоторых важных реакций (например, окисления).

Живые организмы и самый феномен жизни представляют собой важнейший тип катализа. Систематическое исследование явлений положительного и отрицательного катализа может оказаться чрезвычайно полезным — чтобы не сказать «необходимым» — для понимания явлений жизни.

Главными инструментами при построении теории катализа являются, несомненно, статистическое истолкование энтропии и квантовая механика. Эти исследования раньше или позже должны привести нас к пониманию механизмов, поддерживающих неустойчивое равновесие. Новооткрытые отрицательные катализаторы могли бы даже помочь стабилизировать некоторые неустойчивые системы, подвергающиеся сейчас спонтанному разложению; можно было бы таким образом создавать новые источники энергии и отрицательной энтропии — совершенно так, как мы научились делать это с пищевыми продуктами.

Мы уже говорили о роли живых организмов как катализаторов с давно уже известными свойствами. Каждый биохимик привык смотреть на ферменты или дрожжи как на своеобразные живые катализаторы, которые помогают преодолеть те или иные препятствия и развязывают реакции в системах, находящихся в состоянии неустойчивого равновесия. Живые существа, как и катализаторы, работают у предела Второго закона термодинамики. Здесь нужно добавить, однако, что каталитическое действие само по себе не является чем-то, не подчиняющимся Второму закону. Правда, катализатор ускоряет химическую реакцию, но о характере этого ускорения Второй закон попросту умалчивает. И именно поэтому мы видим, что жизнь балансирует у самого предела применимости Второго закона.

Однако для жизни характерна и еще одна черта, быть может еще более важная: это проблема рождения и воспроизведения, о которой мы до сих пор умалчивали. Рассмотрим взрослый экземпляр растения, животного или человека. Это самый необычайный пример химической системы в состоянии неустойчивого равновесия. Его неустойчивость не подлежит сомнению, поскольку система отличается чрезвычайно сложной организацией и

является, в строгом смысле слова, наименее вероятной как система с очень низкой энтропией (а согласно статистическому истолкованию этой величины именно такие системы имеют очень малую вероятность существования). Ее неустойчивость проявляется в день смерти; тогда вся система оказывается вдруг предоставленной самой себе, лишается той таинственной силы, которая придавала ей целостность; в очень короткие сроки организм распадается на части и (если верить Священному писанию) обращается в прах, из которого возник.

Итак, живой организм — это химическая система, находящаяся в состоянии неустойчивости (термодинамического) равновесия, которое поддерживается некоей загадочной «жизненной силой», являющейся своеобразным отрицательным катализатором. Пока в организме тлеет жизнь, он способен поддерживать свою неустойчивую структуру, тем самым избегая разрушения; следовательно, он обладает способностью в значительной мере (точнее говоря — на протяжении всей жизни) задерживать нормальный процесс разрушения. Отсюда следует новый аспект феномена жизни: биохимики привыкли смотреть на живые организмы как на катализаторы, но сами эти организмы как таковые являются системами в состоянии неустойчивого равновесия, сохраняющиеся только в силу какого-то внутреннего антикатализа! Самый сильный яд — это только активный катализатор, а сильное противоядие — антикатализатор последней реакции — смерти. Норберт Винер в своей книге «Кибернетика» высказывает подобный же взгляд, сравнивая энзимы и живые организмы с «демоном Максвелла». Он пишет: «Возможно также, что энзимы являются метастабильными демонами Максвелла, предназначенными уменьшать энтропию... Тогда было бы легче расшифровать живые организмы, например Человека. Как энзим, так и живой организм несомненно одинаково метастабильны: для энзима устойчивое состояние — это пассивность, для живого организма — смерть. В конечном счете все катализаторы могут изменять только скорость реакции, но не могут изменить состояние равновесия. Несмотря на это, как для катализаторов, так и для Человека метастабильные состояния определены настолько хорошо, что заслуживают того, чтобы их признали сравнительно постоянными условиями существования».

Живые организмы и неживые структуры. Во время дискуссии в Гарвардском университете (1946 г.) П. Бриджмен указал на фундаментальную трудность, связанную с возможностью приложения законов термодинамики к каким бы то ни было физическим системам, включающим в себя живые организмы. Действительно, как рассчитывать энтропию живого существа? Чтобы определить энтропию какой-либо системы, нужно иметь возможность построить или разрушить систему обратимым путем. Можно представить себе необратимый процесс, в котором живой организм создается или уничтожается, — ведь и рождение и смерть являются необратимыми процессами. Но мы совершенно не можем представить себе способ, чтобы определить изменение энтропии, происходящее в организме в момент его смерти. Можно было бы даже придумать какой-либо способ для измерения энтропии мертвого организма (хотя это, по-видимому, выходит далеко за пределы наших нынешних экспериментальных возможностей), но это ничего не скажет нам о той энтропии, которой организм располагал до своей смерти.

По существу это трудность принципиального характера. Нет смысла говорить о величине, измерение которой лишено всякой оперативной схемы: такая процедура неосуществима. Определить энтропию, заключенную в живом организме, невозможно. Обсуждая все эксперименты, касающиеся живых организмов, биологи обычно уклоняются от этой трудности, постулируя практически постоянную энтропию живых организмов. Это

предположение не противоречит результатам опытов, но все же оно остается гипотезой, доказать которую невозможно.

В известном смысле слова живую клетку можно сравнить с пламенем: в обоих случаях энергия поступает и выделяется, а в промежутке происходит сгорание. Энтропию пламени определить невозможно, так как эта система не находится в состоянии термодинамического равновесия.

В случае живой клетки мы можем определить энтропию ее пищи и измерить энтропию отходов. Если клетка не вызывает никаких видимых изменений, то можно предполагать, что ее энтропия остается практически постоянной. Но в случае живой, развивающейся клетки все опыты показывают, что энтропия отходов выше энтропии пищи. Следовательно, превращения, производимые живой системой, соответствуют повышению энтропии (отходов) и являются подтверждением Второго закона термодинамики.

Поведение живых организмов отличается многими странными свойствами сравнительно с неживыми структурами. Эволюция видов, как и рост индивидуумов, является необратимым процессом. Тот факт, что эволюция шла от простейших форм ко все более сложным, очень трудно понять, и именно он кажется нам противоречащим принципу деградации энергии, о котором говорит Второй закон. Разумеется, тут можно ответить, что эта деградация применима только к полным системам, находящимся в изоляции, а не к отдельным частям таких систем. Однако нам все же трудно примирить между собой две противоположные тенденции в эволюции. Загадочными остаются также многие другие факты: воспроизведение, устойчивость и самоподдержание живого организма (вида), а также свобода воли.

Живые существа залечивают свои раны, преодолевают болезни и бывают способны регенерировать даже крупные части своей структуры, поврежденные или потерянные в результате несчастного случая,— это является, пожалуй, самой поразительной чертой их поведения. Представим себе, что у нашего автомобиля лопнула шина и что достаточно подождать немного, выкурить папиросу, и за это время шина сама себя зачинит, накачает себя до нужного давления и будет готова к дальнейшему пути. Это звучит неправдоподобно, хотя с чисто технической стороны мы можем представить себе самогерметизирующиеся или бескамерные шины. А ведь именно этим методом пользуется природа, когда нам случится порезаться при бритье. У неживой материи нет таких свойств самовосстановления. Именно поэтому многие ученые (принадлежащие к группе Б) считают, что наших законов физики и химии недостаточно, чтобы объяснить многие удивительные факты, и что нам нужно найти еще что-то — какой-то новый, очень важный закон природы, до сих пор ускользающий от нас. На вопрос о том, будет ли этот новый закон, могущий понадобиться для выяснения поведения живой материи, носить «сверхприродный» характер, Шредингер отвечает: «Не думаю... Новый принцип, связанный с этими явлениями, является скорее чем-то физическим. По моему мнению, это будет снова квантовая теория». Такая возможность есть, хотя ей далеко до достоверности, а высказывания Шредингера в этой области, хоть и блестящие, звучат неубедительно.

У живых организмов есть и много других важных свойств. Вернемся хотя бы к парадоксу «демона Максвелла», этого субмикроскопического существа, дежурящего у столь же микроскопической дверцы и открывающего ее только для быстрых молекул, обладающих высокой энергией и высокой температурой. А это невозможно, так как противоречит Второму закону термодинамики.

Но почему же это становится возможным в крупных масштабах? Ведь человек может открыть окно, когда жарко, и закрыть его в более холодные дни! Естественным ответом здесь является тот, что Земля не представляет собой замкнутой системы, но что мы находимся в неустойчивом состоянии, создаваемом излучениями Солнца и другими подобными источниками. И все-таки очень странно, что условия, не дозволенные в малом, субмикроскопическом масштабе, дозволяются в крупном масштабе; что крупные системы могут поддерживать состояние неустойчивого равновесия на длительные сроки, а жизнь есть игра, основанная на всех этих *исключительных* условиях у пределов Второго закона термодинамики.

Энтропия и разумность

Одной из наиболее интересных частей книги Винера «Кибернетика» нужно считать главу «Временные ряды, информация и связь». В рамках проводимой там дискуссии Винер утверждает, что некоторая «часть информации есть величина, обратная по знаку относительно другой, которую в таких случаях обозначают как энтропию».

Это очень важная точка зрения, открывающая пути к нескольким обобщениям понятия энтропии. Винер дает точное математическое определение этой отрицательной энтропии в области некоторых проблем информации и связи, а также обсуждает проблему предсказания времени: если у нас есть сколько-то данных о поведении системы в прошлом, то в какой степени мы можем предвидеть ее поведение в будущем?

Эти блестящие рассуждения Винер дополняет мыслью о необходимости расширить понятие энтропии: «Информация — это отрицательная энтропия». Но если встать на такую точку зрения, то ее неизбежно придется распространить и на все виды разумной деятельности.

Возьмем экземпляр нью-йоркской газеты «Таймс», книгу «Кибернетика» и равную им по весу пачку бумаг. Одинакова ли их энтропия? Согласно принятому физическому определению — да. Но для разумного читателя количество информации, содержащееся в этих трех пачках, весьма различно. Если информация означает «отрицательную энтропию», как предлагает Винер, то каким образом мы сможем измерить этот новый вклад в энтропию бумаг? Винер предлагает несколько численных определений, которыми можно было бы пользоваться при решении простейших проблем такого рода. Это, несомненно, совершенно новый подход к исследованиям, основанный на совершенно новых понятиях.

Можно найти немало примеров такого рода. Сравним хотя бы каменистую гору, пирамиду и плотину гидроэлектростанции. Количество вложенного в них умения совершенно различно и должно отразиться в заключенной в каждой из них величине «отрицательной энтропии», хотя физическая энтропия у всех трех структур может быть одинаковой. Сравним энтропию вычислительной машины с суммой энтропий каждой из ее деталей до сборки. Разумно ли будет предполагать, что это величины равные? Или возьмем вместо «механического мозга» человеческий: можно ли считать, что его (общая) энтропия равна сумме энтропии его составных частей?

По-видимому, серьезное исследование этих проблем в направлении, которое указал Винер, может привести нас к очень важным заключениям и внести значительный вклад в изучение проблемы жизни.

Попытаемся найти ответы на некоторые из поставленных выше вопросов. Сравним «ценность» предметов из первого примера: пачки бумаги, «Кибернетики» и «Таймса». Для неграмотного все они имеют одинаковую ценность. Человек, знающий английский язык, предпочтет, вероятно, нью-йоркскую газету, математик же поставит выше всего «Кибернетику». Таким образом, ценность определяется здесь «общей отрицательной энтропией», если только наш взгляд правилен.

Аналогичное (как в кибернетике и в теории коммуникации) расширение понятия энтропии необходимо и в биологии, особенно если говорить о новых определениях своеобразного *спектра перцепции* информации. В последние годы биологи провели множество интересных опытов, результаты которых можно назвать «новой классификацией энергии». В случае неживой материи достаточно знать ее энергию и энтропию; в случае живых организмов необходимо ввести понятие «питательной ценности», так как калории, заключенные в угле, и калории, содержащиеся в хлебе или мясе, различны по своей функции. «Питательную ценность» нужно оценивать по-разному в зависимости от различных организмов. Целлюлоза, например, служит пищей для одних организмов, тогда как другие не могут ее использовать. Когда речь идет о витаминах или гормонах, нужно учитывать новые свойства химических соединений — свойства, уже не сводящиеся только к энергии и энтропии.

Все это кажется еще довольно туманным, но указывает, по-видимому, на необходимость создать какую-то новую путеводную идею (можно назвать ее принципом или законом), которая послужила бы дополнением к нынешней термодинамике; только тогда можно будет логически связать между собой характерные свойства различных живых организмов и перейти в биологии от эмпирической стадии к конструктивной, основанной на новых законах и строго логической структуре.

Старая классическая идея физической энтропии нуждается сейчас в нескольких смелых, широких обобщениях, которые позволят применить ее для описания основных проблем жизни и разума. Эту точку зрения можно подкрепить еще одним примером. На всем протяжении XIX в. физики отчаянно стремились найти какую-то механическую модель, могущую объяснить законы, которыми управляются электромагнетизм и свет. Максвелл видоизменил проблему, создав *электромагнитную теорию света*. А вскоре эта теория сменилась электромагнитным истолкованием свойств материи.

Мы до сих пор ищем физико-химическую интерпретацию жизни. Но с таким же успехом может оказаться, что новые принципы или законы в биологии будут открыты в результате новой формулировки нынешних законов химии и физики, выражающей новую точку зрения на науку.

Так или иначе, первостепенную важность нужно сейчас приписать двум проблемам: во-первых, лучшему пониманию процессов катализа, поскольку жизнь явно основывается на некотором количестве процессов отрицательного катализа; во-вторых, значительному расширению понятия энтропии — в том направлении, какое указал Винер, дабы она получила возможность описывать процессы, происходящие в живых организмах, и ответить на вопрос, заданный П. Бриджменом.

**КИБЕРНЕТИКА — ПУТЬ РЕШЕНИЯ
ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

А. И. БЕРГ, Б. В. БИРЮКОВ

Кибернетика — это комплексное научное и техническое направление, получившее громкую известность после появления книги Н. Винера «Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине» (1948), было подготовлено предшествующим развитием не только науки и техники, но и всей общественной жизни. Кибернетика — это ответ человеческого познания на потребность общества в решении точными средствами проблем управления и организации.

Кибернетика, подобно научной организации труда 20-х годов нашего века, возникла и развивается под определяющим влиянием потребностей в лучшей организации труда, в коренном повышении его производительности и эффективности. Эта потребность давала себя знать еще полстолетия назад. Но тогда для ее реализации не доставало соответствующих научных и технических средств. Например, предложенная А. А. Богдановым (Малиновским) в его труде «Всеобщая организационная наука (тектология)» (1913—1922) теория организации не опиралась на точные методы. И хотя А. А. Богданов предвосхитил некоторые общие идеи кибернетики (мы не говорим здесь об ошибочных положениях, содержащихся в его книге), эти предвосхищения все же были очень далеки от ориентации на изучение процессов управления математическими методами и их автоматизацию с помощью средств техники. Но именно эта ориентация и составляет самую суть современной кибернетики. Для последней особое значение имело возникновение новой области науки и технической практики — электроники, в частности радиоэлектроники. Еще большее значение в этом отношении имело появление электронных цифровых машин.

Кибернетика сформировалась и развивается как чрезвычайно широкое научное и техническое направление. С одной стороны, ее рождение было связано с конструированием и применением сложных автоматов, с прогрессом в автоматизации производства, с электроникой и универсальными цифровыми машинами. С другой стороны, к кибернетике вели науки, издавна изучавшие процессы управления и переработки информации в конкретных областях, особенно науки о жизни. И все это синтезировалось и оплодотворялось мощным комплексом математических идей и теорий.

Отмеченная черта становления кибернетики ярко проявилась в стиле работы ее создателей. «Отец кибернетики» Н. Винер работал совместно с учеными других специальностей. Математик, он тесно сотрудничал, например, с физиологом А. Розенблютом. Можно смело сказать, что без усмотрения аналогий между нервной системой, с одной стороны, и вычислительными машинами и системами автоматического регулирования, с другой, появление кибернетики было бы невозможно. То же самое можно сказать про всех корифеев кибернетики. К. Шеннон закладывал основы математической теории информации исходя из постановок задач в технике связи, и он же осуществил новаторские работы по применению логики к технике. Математик Дж. фон Нейман стал одним из творцов современных цифровых машин, что было не случайно, так как его интересы простирались от логики и проблем логической формализации дедуктивных наук до теории игр и математической экономики. Английский математик А. Тьюринг еще до оформления кибернетики дал первое в науке описание «абстрактного автомата» — «машины Тьюринга». Эта машина явилась прообразом появившихся в конце 40-х годов универсальных цифровых машин. И он же одним из первых в современной литературе отнесся серьезно, а не сенсационно к постановке вопроса: может ли машина мыслить? Любопытно, что, обсуждая этот вопрос, он привлек широкий круг аргументов, включая даже относящиеся к... телепатии.

Вместе с Винером выдающийся вклад в математические основы кибернетики внес наш математик академик А. Н. Колмогоров. После широкого признания кибернетики он распространил свои «кибернетические» интересы до проблемы сущности жизни и мышления и математического стихосложения. Специалисты в области автоматического регулирования, в частности отечественные ученые, ввели свои исследования в рамки кибернетических постановок задач. Важными истоками кибернетики явились учение о высшей нервной деятельности И. П. Павлова, рефлексология и психология поведения. С одной стороны, они объективно служили подготовке кибернетики, а с другой стороны — после ее возникновения вступили с ней в теснейший идейный союз. В этом отношении показательны исследования П. К. Анохина, выдвинувшего концепцию «обратной афферентации», — концепцию, подчеркивающую роль обратных связей в нервно-психических процессах.

Союз кибернетики и науки с жизнью с самого начала имел под собой «математическую почву». И это — не только в работах кибернетиков-математиков, начавших изучать живое (Н. Винер, И. М. Гельфанд и М. Л. Цетлин, А. А. Ляпунов и другие), но и в исследованиях биологов, например И. А. Бернштейна, еще в «докибернетический» период применявшего в своих работах математические средства. Синтетичность кибернетики — ее ведущая черта. В этой синтетичности — ее сила и будущее. В этой синтетичности — объяснение ее существования как самостоятельного направления научной и технической практики.

Кибернетика — преемница НОТ времен В. И. Ленина — располагает ныне совершенно иной научной, технической и материальной базой, чем научная организация труда и управления 20-х годов. Преемница выросла и опирается на могучий арсенал математики, теории информации, логики, радиоэлектроники, автоматики и других наук. Она уже говорит свое веское слово о путях рационализации управления сложными системами и процессами. И еще больше она обещает дать в будущем. Она открывает новые перспективы в повышении эффективности работы промышленности, транспорта и связи, строительства, даже сельского хозяйства. Она предлагает свои теоретические идеи и технические средства различным естественным и общественным наукам.

Кибернетика — это прежде всего целый комплекс новых идей и методов. Многие из них, такие, например, как идея обратной связи, понятия регулирования в технике или физиологии, методы моделирования и формализации, имеют солидную «докибернетическую» историю. Но в кибернетике эти идеи и методы образовали новый сплав.

В чем следует усматривать обоснование самостоятельности кибернетики в системе знания и технической практики? В специфическом содержании ее основных понятий и применяемых ею методов. Речь идет прежде всего о таких понятиях, как управление, информация и оптимизация, и о таких методах, как моделирование и алгоритмизация. Новая наука вызвала существенные сдвиги в методах научного исследования. Она привела к проникновению в науку широкого фронта методов моделирования, формализации, алгоритмизации и связанных с ними понятий. Именно эти методы и понятия определяют ряд новых тенденций в развитии науки и техники — тенденций, которые в будущем будут, вне всякого сомнения, только усиливаться.

В отечественной науке под кибернетикой обычно понимают исследование процессов управления в сложных динамических системах, основывающееся на теоретическом фундаменте математики и логики и использующее средства автоматики, особенно электронные цифровые вычислительные, управляющие и информационно-логические машины. Такую дефиницию кибернетики можно, например, прочитать во втором томе

«Философской энциклопедии» в статье «Кибернетика», написанной коллективом специалистов.

Суть кибернетики — исследование того общего, что есть в закономерностях, лежащих в основе процессов управления в различных средах, условиях, областях. Процессы управления, изучаемые в кибернетике, протекают в объектах, которые называются сложными динамическими системами. Здесь не место для подробной характеристики этого понятия. Достаточно содержащегося в самом термине указания на сложность и динамичность (изменяемость, способность к развитию) системы. Но стоит сказать о том, что и операции управления в технологии, и процессы управления коллективами людей с целью решения тех или иных задач (например, транспортных, военных, финансовых и др.), и регуляционные процессы (физиологического, биохимического и т. п. характера), связанные с жизнедеятельностью организмов, и целенаправленные воздействия человека на природу — все эти процессы происходят в сложных динамических системах. Следует отметить, что с кибернетических позиций мы еще очень мало знаем об этих процессах — кибернетика очень молода. Но мы отчетливо понимаем чрезвычайную важность их изучения.

Управление всегда предполагает информационные процессы. Поэтому кибернетика есть вместе с тем наука об информации, об информационных системах и процессах. Как науку весьма «практическую», ее остро интересует, как следует эффективно осуществлять добывание, хранение, классификацию, запись, переработку, передачу по каналам связи, выдачу потребителям и использование информации.

Известно, что процессы управления и информационные процессы в сложных динамических системах описываются обычно в таких понятиях, как канал передачи информации, обратная связь, кодирование, гомеостаз, цель (задача) управления, самонастройка, обучение (системы), адаптация, оптимизация и др. Многие из этих понятий, такие, как обучение, адаптация, оптимизация, особенно важны при характеристике наиболее совершенных сложных динамических систем. Эти системы, по-видимому, станут главным объектом изучения кибернетики уже недалекого будущего. Речь идет о системах, обладающих свойствами самоорганизации различного уровня, выработки целей управления и определения путей их реализации.

Таковыми системами являются прежде всего живые организмы, особенно животные, а также сообщества некоторых живых организмов. Можно указать и на другой тип таких систем. Это системы типа «человек — машина», т. е. приборы, агрегаты, машины, рассматриваемые в единстве с «обслуживающими» их людьми — операторами. Но «обслуживание» человеком современных машин не есть «прислуживание» им. Человек в таких «человеко-машинных» системах играет кардинально важную роль — он восполняет отсутствие у современных машин сколько-нибудь развитых свойств адаптации и самоорганизации. Человек в конечном счете задает цель управления и общие критерии оценки действий, ведущих к ее достижению. Правда, и определение цели — задание целевой функции, и «формулирование» критериев оценки действий уже сейчас можно (в определенном ограниченном смысле) доверять машинам. Но все же бесспорно, что за человеком в современных системах типа «человек — машина» остается решение самых важных и сложных вопросов оптимизации.

На первом месте из этих вопросов — создание самой теории оптимизации. Разработка проблем этой теории и ее приложений идет на всех трех уровнях кибернетики: теоретическом, техническом и прикладном. Цель теоретических исследований — создание достаточно общих и мощных методов оптимального управления. Технические

разработки направлены на конструирование устройств, предназначенных для практической реализации этих методов. Задача же прикладных работ — применение методов и технических средств оптимизации в конкретных областях науки и народного хозяйства.

Следует заметить, что мы еще не подошли к созданию единой теории оптимизации процессов в любых системах. Неясно, возможна ли такая единая теория вообще. Ведь системы, в которых протекают процессы управления, слишком различны. Даже весьма высокий уровень абстракции, с «вершины» которого рассматриваются в теоретической кибернетике эти системы и процессы, не в состоянии снять эти различия. В самом деле, системы могут быть детерминистскими или вероятностными. Они могут быть тесно связаны со средой, в которую погружены, — быть «открытыми» системами, но могут быть практически изолированы от окружающих процессов («закрытые» системы). Бывают системы, структура и функционирование которых носят четко выраженный дискретный характер, но могут быть и системы, являющие собой воплощение идеи непрерывности. Проблема осложняется еще и тем, что реальные объекты часто соединяют в себе черты описанных типов систем так сказать в разных пропорциях, а описание одной и той же системы возможно часто с помощью различного математического аппарата. Кроме того, чрезвычайно разнообразными могут быть сами требования (критерии) оптимальности. Поэтому в кибернетике разрабатывается много разных методов и теоретических подходов к решению проблемы повышения эффективности процессов управления и их оптимизации. Используемый здесь теоретический, т. е. математический, аппарат чрезвычайно многообразен. Здесь теория вероятностей и шенноновская теория информации, математическая статистика и теория планирования эксперимента, теория массового обслуживания и исследование операций, теория конечных автоматов и теория графов, теория алгоритмов и математическая логика, теория игр, линейное и динамическое программирование и много других быстро развивающихся областей математики. Но как бы это ни было трудно, стремление обеспечить управление процессами в оптимальном режиме — ведущая черта кибернетики.

Кибернетика внесла большой вклад в научную картину мира в целом, в методологию научного познания, в пути и тенденции практического изменения мира человеком.

Если ставить вопрос о наиболее важном, что принесла с собой кибернетика в научное познание, то ответ будет однозначен: подобно мощному тарану, она пробила брешь в одной из твердынь природы, прорвавшись в еще не изученную область действительности. Этой областью, и мы уже об этом говорили, является область процессов управления и информационных процессов.

В чем мировоззренческое значение этого прорыва? До кибернетики идея о существовании общих закономерностей в процессах управления и в информационных процессах — закономерностей, действующих в качественно различных областях реальности, не подвергалась научной разработке. Новая синтетическая наука взялась за «достройку» научной картины мира в этом дотоле уязвимом пункте. Впервые в истории человеческого познания она вступила на путь объективного — естественнонаучного и математически точного анализа процессов управления и переработки информации как таковых. Распространяя свои идеи, выводы и результаты на живую и неживую природу, технику и общество, она вполне обоснованно претендует на оказание существенной помощи в решении кардинальных проблем науки, таких, например, как происхождение и сущность

жизни и сознания. Тем самым кибернетика наносит сильный удар по несостоятельным догмам о непознаваемости психической жизни человека.

Непреодолимое мировоззренческое значение имело установление принципиальной неполноты той картины действительности, которую рисовала наука XIX в. Последняя пользовалась в своей палитре такими основными «красками», как вещество, энергия, движение, пространство и время.

Кибернетика показала, что в палитре не хватает еще одной краски. Этой краской является информация. Лишь добавление к вышеупомянутым общенаучным либо философским категориям понятия информации дает возможность построить целостную картину реальности.

Как известно, материальные процессы — это процессы переноса и преобразования вещества и энергии. Они протекают в пространстве и времени. Кибернетика показала, что системы материальных объектов, вещественно-энергетические процессы являются вместе с тем (в том или ином смысле) источниками, носителями, потребителями информации. Ни вещества, ни энергии, не связанных с информационными процессами, не существует. Это следует из кибернетической трактовки информации как меры разнообразия объектов действительности. Такая трактовка была развита уже пионерами кибернетики, в частности У. Р. Эшби.

Этот информационно-кибернетический подход очень многое меняет в науке и практике. Абстрагироваться от информационных процессов, как это, сама не осознавая того, делала наука XIX в., уже невозможно. Не энергия, а информация выйдет, наверное, в XXI в. на первое место в мире научных и практических действенных понятий.

В самом деле, многие мыслители, размышляющие о будущем науки, считают, что ведущей наукой грядущего столетия станет наука о жизни. Она, так сказать, обгонит физику. Но ведь все акты функционирования живой материи пронизывают информационные процессы. Информация проникает во все поры жизни людей и обществ. Живые существа, люди обитают на Земле в гравитационном поле, во всевозможных энергетических и радиационных полях. Это знали до кибернетики. Теперь же было осознано, что они находятся и в «информационном поле», непрерывно воздействующем на их органы чувств. Если бы живые существа не обладали органами чувств или иными «приборами» улавливания информации или если бы не существовало информационного поля, биосфера Земли погибла бы. Жизнь невозможна ни в вещественно-энергетическом, ни в информационном вакууме.

Понятие информации в кибернетике уточняется в математических теориях информации. Эти теории — статистическая, комбинаторная, топологическая, семантическая и другие — имеют не только «внутрикибернетическое» применение. Многие положения теорий оказались весьма полезными в других науках, в частности в лингвистике и психологии. Конечно, поиск применения информационно-кибернетических идей и средств в тех или иных областях не сводится к тривиальному переносу «кибернетических» терминов в «некибернетические» области. Эту мысль почти четверть века назад подчеркнул К. Шеннон. Но есть одна сфера, где теории информации безусловно плодотворны. Это — область теории познания, гносеологии. Различные теории информации проливают новый свет на ряд аспектов философского понятия отражения, Введение в эти теории различных количественных оценок информации, описания в точных терминах процессов ее передачи и преобразования не только дают необходимый аппарат для математически точного исследования процессов управления различной природы, но и открывают новые пути

изучения взаимодействий материальных объектов вообще. А именно в этих взаимодействиях реализуется то лежащее в фундаменте самого «здания материи» свойство отражения, о котором в свое время писал В. И. Ленин.

Общенаучный характер имеет и другое основное понятие кибернетики — система управления. Это понятие вводит в сферу исследования такие материальные образования (или такие аспекты, стороны, «срезы» материальных образований), которые ранее, по существу, ускользали от научного анализа.

Если говорить прежде всего о перспективах кибернетики, то особую важность для углубления представлений о «структуре мира» имеет понятие о таких системах управления, которые обладают упоминавшимся выше свойством самоорганизации. Такого рода системы — это «открытые» системы, при их изучении необходимо учитывать взаимодействие систем со средой. Характерная черта таких систем (примитивным их прообразом может служить известный гомеостат Эшби) состоит в том, что они обладают способностью к устойчивому сохранению своих состояний (или определенных характеристик своих состояний). Если внешние воздействия выводят их за пределы «пространства» устойчивых состояний, они стремятся возвратиться в это «пространство», в чем и состоит суть явления, называемого гомеостазом. Устойчивость таких гомеостатических систем обеспечивается специальными механизмами, производящими в системах внутренние перестройки — изменения структуры систем, характера функционирования их подсистем и т. п. Обычно такие системы управления представляют собой сложные иерархии частей — подсистем, находящихся в многообразных отношениях подчинения и соподчинения. Взаимодействие элементов и подсистем осуществляется путем циркуляции в системе «командной» (управляющей) и «осведомительной» (обратной) информации о поведении частей систем.

Разумеется, очерченная картина сильно упрощает реальную ситуацию и верна лишь в первом приближении. Имеются различные уровни, степени устойчивости, организации и самоорганизации. Скажем лишь об одной стороне дела. Системы управления гомеостатического типа, рассматриваемые в технической кибернетике, характерны тем, что задачу отыскания и сохранения (или изменения в соответствии с некоторыми критериями) своего состояния они решают, так сказать, по отношению к прошлому и настоящему. Иными словами, они реагируют на уже осуществившиеся или осуществляющиеся в данный момент воздействия среды. Проводимые работы показывают, что реализация такого рода адаптивного поведения очень непростая задача. Для обеспечения устойчивости, ультраустойчивости, приспособляемости таких систем простых методов, например метода проб и ошибок, обычно далеко не достаточно. Приходится привлекать разные хитроумные методы поиска, основанные на разнообразных разработках теоретической и технической кибернетики.

Но не в этом главное. Если мы хотим приподнять завесу «кибернетического будущего», нам надо обратиться к системам иного рода. Ведь природа знает и, более высокий уровень адаптации и самоорганизации. Его демонстрирует биоэволюция, жизнь. Живые системы способны к активной переорганизации. Активность означает способность (в тех или иных пределах) к предвосхищению, предвидению будущего. Естественные гомеостатические системы имеют не только память, отражающую их родо-вой и индивидуальный опыт. Более развитые из них — и прежде всего человек как «сложная динамическая система» — обладают аппаратами, позволяющими в ходе обучения и накопления опыта улавливать закономерности внешней среды, строить общие понятия и представления (или их аналоги — на более низких ступенях жизни). При этом существенно, что эта «предвосхищающая» деятельность связана с выработкой данной системой цели (Задачи) поведения. Начиная с

уровня животного мира движение к результату, определяемому потребностями живого, становится неотъемлемым элементом адаптивного поведения.

Важнейшая задача кибернетики — раскрытие природы таких систем. Это имеет не только огромное теоретическое, познавательное значение. Это очень важно для конструирования все более «интеллигентных» автоматов. Здесь мы находимся еще в начале пути.

Кибернетики умеют наделять машины «индивидуальной» памятью. Однако машинное воспроизведение «родовой» памяти делает только первые шаги: в области машинно-математического моделирования процессов органической эволюции имеются только пионерские работы. Кибернетики умеют создавать машины, предвидящие будущее поведение контролируемых объектов на основе познанных человеком (в том числе и с помощью самих машин) закономерностей. Но вот уже «вложение» в современные автоматы свойства целеполагания, столь характерного для развитых форм жизни, сталкивается с огромными трудностями.

Ход исследовательских работ в области кибернетики и ее приложений к явлениям жизни вселяет уверенность в том, что эти трудности будут преодолены. Ведь живые кибернетические системы так же познаваемы, как и неживые. Значит, их свойства можно моделировать, создавать технические системы, обладающие аналогами столь ценных свойств целенаправленности и адаптации, присущих живым системам. Существенную роль в этом отношении, по-видимому, сыграет функциональный подход к определению сущности жизни и мышления. Этот подход был предложен многими учеными. Например, А. Н. Колмогоров предложил освободить определение жизни и мышления от представлений о конкретной природе лежащих в их основе физических процессов: определение жизни должно быть «чисто функциональным». При этом описание явлений жизни с кибернетических позиций, по мнению советского математика, невозможно без представлений о внутренней, свойственной этим системам целесообразности.

Разумеется, подробная разработка кибернетики и математики живого — в основном дело будущего (хотя интересные подходы к такой биоматематике уже имеются). Но уже и теперь очевидна мировоззренческая и методологическая ценность трактовки живых организмов как сложных динамических систем управления и переработки информации. Вряд ли стоит подробно развивать мысль о том, что такая трактовка не претендует на исчерпание специфики живого. Разговоры о том, что кибернетика будто бы собирается подменить биологию, которые иногда приходится слышать, ни на чем не основаны.

На что же в действительности претендует такая трактовка? На то, что она, и прежде всего она, открывает путь к математическому описанию явлений жизни, в частности механизмов приспособления организмов к внешней среде и биоэволюции. Большую роль здесь призваны сыграть также исследования принципов построения самоорганизующихся систем, ведущиеся в рамках технической кибернетики, включая моделирование процессов адаптации и самоорганизации на электронных цифровых машинах.

Разработка очерченных проблем открывает путь к более глубокому изучению вопросов о сходстве и различии между живой и неживой природой. Такое изучение предполагает прежде всего выяснение феномена активности живых существ. А это в свою очередь тянет за собой целую цепочку проблем, относящихся к явлениям, выражаемым в терминах целесообразности и целеполагания. Кибернетика позволяет приступить к разработке и изучению модельных аналогов этих явлений. Отвергая неубедительные философские интерпретации «телеологии» — учения о целях, целеполагании и целесообразности, не лишне подчеркнуть, что «телеологический» подход кибернетики находится в соответствии с известным философским тезисом, согласно которому целесообразность и

целенаправленность должны быть поняты как некоторая объективная, наделенная своей спецификой система причинно-следственных связей.

В соответствии с этим кибернетика отбрасывает виталистические представления об имманентно присущих живым организмам нематериальных «жизненных факторах», определяющих феномены целесообразности и целеполагания. Рассматривая цель для задачи управления в кибернетике в отвлечении от характера системы, мы увидим, что она сведется просто к критериям качества управления, к тому, что в основе своей определяет выбор и направление соответствующих действий. В самых общих чертах понятие целевого состояния в кибернетике включает в себя стремление к сохранению устойчивости организации системы. Конечно, такое понимание задачи управления еще достаточно бедно содержанием. Устойчивость должна отвечать определенным критериям. Поэтому понятие целевого состояния в кибернетике тесно связано с понятием оптимизации процесса управления: оптимальное управление — это обязательное управление, ведущее к достижению задачи управления, определяемой заданными (или вырабатываемыми в ходе управления) условиями. Ясно, что это понятие задачи управления весьма далеко отстоит от цели как понятия, применяемого при описании живого и мыслящего.

Управление неотделимо от движения к целевому состоянию. Управлять — значит решать какую-то задачу для технических систем эти состояния в общем случае задаются извне. Их формулирует человек. Мир живого — это мир внутренней выработки целевых состояний, отвечающих в конечном счете определенным потребностям. Именно потребности приводят к тому, что задачи управления в мире живого носят не только «внутренний», но и активный характер. Живое существо приходит к потребным для себя состояниям, действуя определенным образом на окружающую среду. Соответствующие процессы характеризуют каждое явление в живой природе. Конечно, это не сознательная целенаправленность. Осознанное выдвижение целей, сознательный выбор средств, ведущих к их достижению, и планомерная борьба за реализацию целей — все это возникает только на уровне разумных существ. Но более «слабый» феномен — достижение состояний, отвечающих потребностям системы, неотделим от процессов управления вообще.

Осмысление феномена активности живых существ имеет фундаментальное значение для раскрытия специфики жизни и выяснения природы психического. Подход к этому феномену с учетом идей кибернетики привел к созданию нового направления исследований — физиологии и психологии активности. Это направление связано прежде всего с именем Н. А. Бернштейна. Под активностью живых систем он понимал всю динамику их борьбы за существование посредством целесообразных механизмов. Живые системы всегда имеют какие-либо потребности и удовлетворяют их, активно отбирая из среды то, что соответствует этим потребностям. Активность выражается в отсутствии у организма безразличия к существенно важным воздействиям среды. Чтобы должным образом ответить на такие воздействия, организм нередко мобилизует все свои силы. С точки зрения физиологии активности этот феномен является самым определяющим в жизнедеятельности; вообще.

Мы уже отмечали, что активный характер поведения организмов неотделим от предварения его результатов. В соответствии с этим в кибернетике все шире начинают исследоваться механизмы построения предваряющих (прогностических) «внутренних моделей» будущих ситуаций и действий — «моделей», предназначенных для решения актуальных для системы задач в этих ситуациях. Работы ведутся с привлечением различных теоретических средств (например, методов теории игр и теории автоматов) и

моделирования на электронных машинах. Они имеют большие перспективы. В своем идейном аспекте упомянутые работы во многом созвучны известной кибернетико-физиологической концепции «опережающего отражения действительности», разработанной П. К. Анохиным.

Однако понятие целеполагающей активности применимо лишь к человеку. Последний в своей деятельности осознанно ставит определенные цели, формулирует задачи, соответствующим образом формирует свое поведение. Чисто биологические теории, даже такие классические, как учение Чарлза Дарвина или И. П. Павлова, не могут объяснить специфические черты человеческого поведения. Человек мыслит и осознанно предвидит будущее. На основе предшествующего опыта и имеющейся у него информации он управляет своими целенаправленными действиями. Конечно, кибернетика вовсе не претендует на то, что в состоянии сказать последнее слово в анализе природы человека и человеческого общества. Но что она помогает такому анализу, теперь очевидно для всех. В частности, она подчеркивает такой методологический фактор, как учет аспектов целеполагания и целенаправленного действия в качестве составных элементов человеческой деятельности, важность исследования проблемы активности в применении к человеку и обществу.

Одной из ведущих тенденций современного научного процесса является все более широкое применение идей и методов кибернетики, которые воздействуют на облик многих научных дисциплин. Это касается даже самой «самостоятельной» из наук — математики. В самом деле, электронная цифровая техника неизмеримо раздвинула горизонты возможностей вычислительной математики. Кибернетические постановки задач оказали мощное влияние на развитие математических теорий. Потребности изучения и моделирования процессов управления ставят перед математикой новые проблемы, требуют разработки в определенных направлениях существующих математических теорий, формирования новых направлений.

Развитие кибернетики все более обогащает естественные и гуманитарные науки. Ибо всюду, куда проникает кибернетика, она влечет за собой большую определенность проблем и решений. Именно применение математических методов кибернетики прокладывает дорогу эффективной организации процессов переработки информации и управления. А это значит — прогрессивные технологические решения, высокие мощности, недостижимые ранее скорости, недоступная для прошлых эпох точность измерений и т. д.

Разумеется, проникновение математико-кибернетических методов — не «гладкий» процесс: новые методы не всегда воспринимаются с должным пониманием. Но жизнь берет свое, и кибернетические, математические, количественные методы постепенно внедряются во все области знаний и труда человека. Дело идет к тому, что противопоставление описательных, «качественных» наук наукам «точным» постепенно утратит свое былое значение.

Кардинальная задача, стоящая перед нашим обществом, — повышение эффективности человеческой деятельности. Двумя главнейшими сферами этой деятельности являются труд и обучение. Сначала о первой из них.

Имеется целый ряд очень важных сфер труда, производства, практической деятельности, где средства кибернетики дают значительный эффект. Прежде всего отметим разработки

методов и систем оптимального управления технологическими процессами в промышленности, создание автоматизированных систем учета, планирования и управления в различных отраслях народного хозяйства. Применение кибернетики на транспорте означает организацию оптимальных перевозок, автоматическое управление транспортными единицами. Кибернетика в энергетике — это оптимизация управления энергетическими устройствами и распределением энергии. Немаловажное значение имеют математическое описание и моделирование химических процессов и их оптимизация. Еще, пожалуй, большее — автоматизация научно-технической информации. Наконец, кибернетика находит свое место и в исследовании конкретных социальных процессов, где она помогает в точном анализе этих процессов с целью предвидения их протекания и оптимального управления ими.

Здесь нет возможности осветить все направления повышения эффективности трудовой деятельности, которые связаны с кибернетикой. Остановимся только на одном из них — на экономической кибернетике.

По каким линиям идет ныне применение кибернетики в экономике? Что дает практике экономическая кибернетика? Основные исследования ведутся в области математических основ построения систем управления для нужд народного хозяйства. Эти системы призваны решать такие задачи, как управление производством, анализ качества технологических процессов, основанный на статистических данных, планирование работы предприятий и т. д. При этом ставится задача получения готового продукта высокого качества в возможно короткое время. Для многих случаев практики она может быть решена на основе предварительных теоретических исследований. Часто приходится прибегать и к моделированию соответствующих процессов на электронных цифровых машинах. Начинают находить применение и такие способы оптимизации, когда само управляющее устройство в ходе работы отыскивает наивыгоднейший режим. Исследования, проведенные на многих экономических объектах, выявили большие резервы, скрытые в совершенствовании самих методов и форм управления. Рекомендации по организации и распределению ответственности, материальному и моральному стимулированию, улучшению документации и методов работы дают эффект, который трудно переоценить.

Кибернетика и математика ввели в экономику новый для нее принцип — принцип оптимальности. Это значит не только то, что констатируется необходимость в каждом планово-хозяйственном решении отыскивать наилучший в данных условиях вариант. Это значит также, что математика, кибернетика и вычислительная техника дают экономистам реальную возможность находить оптимальные решения. Можно указать, например, на изыскание оптимальных процессов в химической промышленности, на эффективное размещение производительных сил, на оптимизацию планов перевозок массовых грузов и т. д. Показано, что оптимальный план обычно на 5—8% эффективнее плана, составленного традиционными способами. В ряде же задач, например относящихся к строительству, он лучше даже на 15—20%. Размеры нашего народного хозяйства огромны, и легко представить себе, какой эффект может дать на практике реализация кибернетического принципа оптимальности.

Известно, что электронная машина может работать лишь в том случае, если корректно, на понятном ей «языке» поставлена задача, введена определенная программа. Внедрение кибернетики в народное хозяйство стимулировало теоретическое изучение процессов экономического управления. Это и понятно, ибо без такого изучения ни постановка задачи, ни составление программы ее решения невозможны. Для этого развивается

мощный комплекс дисциплин, получивших собирательное название математической экономики.

Итак, экономика, управление социалистическим народным хозяйством явятся в недалеком будущем одной из самых важных сфер приложения кибернетики.

Обучение — вот другая широкая сфера применения методов, идей и средств кибернетики. На наших глазах возникает кибернетическая педагогика — отрасль науки, в которой к процессу обучения подходят как к своеобразной форме функционирования систем управления.

Прежде всего о самой проблеме. Успехи нашей страны в подготовке специалистов общеизвестны. Обучение превратилось у нас в важнейшую сферу деятельности, которой занята треть населения. Масштабы обучения требуют огромных усилий и средств, поэтому естественно возникает проблема повышения эффективности педагогического труда. Научная организация процесса обучения — задача сегодняшнего дня, и на службу повышения эффективности обучающей деятельности начинают энергично привлекаться достижения не только гуманитарных, но и точных наук, не только, например, психологии, но и кибернетики, и математики.

Но сделать это не просто. Ведь сфера обучения, пожалуй, одна из самых «консервативных» областей. Во второй половине XX столетия, в век атома и космоса, обучение людей происходит, по существу, теми же методами, что и столетия назад.

Так возникает задача совершенствования методов и средств преподавания на основе современных научных и технических возможностей. Во всем мире за последние годы совершается постепенный — пока преимущественно в экспериментальном порядке — переход к «кибернетическим» методам обучения. Как установлено, существуют сферы обучения, где эти методы дают лучшие результаты, нежели «традиционные», причем за более сжатое, время.

Что же главное в этой «кибернетической педагогике»? Прежде всего применение в обучении быстродействующих электронных цифровых машин. Работы в этом направлении как у нас, так и за рубежом происходят нарастающими темпами. Уже разработаны методы, позволяющие с помощью одной машины обучать сразу несколько сот учащихся. При этом применение кибернетической техники дает возможность проводить обучение с учетом индивидуальных особенностей обучающихся, их способностей, темпов их работы и т. п. Так рождается синтез педагогики и кибернетики — направление, в которое вливается широко известное ныне программированное обучение.

Ставя во весь рост проблемы повышения эффективности труда и обучения, кибернетика обращает свое внимание на психологию. Ибо решение упомянутых проблем невозможно без учета человеческого фактора. Человек же наделен психикой, сознанием, и они должны быть предметом изучения во всем их многообразии, во всей их сложности. И здесь на помощь психологии приходят опять-таки математика и кибернетика. Расширение и углубление исследовательских работ по внедрению математических и кибернетических методов в психологию превращаются в настоятельную необходимость.

За рубежом ведутся многочисленные работы по математической психологии. В нашей стране широкое признание получила инженерная психология. Это и понятно, ибо главной целью этого раздела психологической науки является разработка методов оптимального взаимодействия человека с машинами, автоматами.

Действительно, по мере усложнения процессов, которыми управляет человек, по мере развития машин и автоматических устройств, с которыми ему приходится работать, возрастает объем информации, которой должны обмениваться человек и машина. Но человеку присущи определенные психофизиологические характеристики, определяющие условия восприятия и переработки им информации. Поэтому в коллективах проектировщиков кибернетических устройств свое место начинают занимать и психологи. Они исследуют «информационные параметры» человека с целью определения того, как нужно строить взаимодействие человека и машины, чтобы человек трудился в оптимальном режиме и без перегрузок, а машина сохраняла бы требуемую эффективность своей работы.

Не так давно психология казалась недоступной для математизации, формализации и алгоритмизации... Ныне эту точку зрения приходится пересматривать. Различные направления психологической науки — инженерная психология, возрастная психология, педагогическая психология, социальная психология и др. все больше обращаются за помощью к представителям точных наук и инженерам — создателям кибернетических устройств. Без современного, в том числе кибернетического, теоретического аппарата и научного оборудования вряд ли можно рассчитывать на успех в изучении психических процессов.

Содружество кибернетики с психологией (и физиологией) уже начинает давать свои плоды. Теперь можно ставить вопрос о проектировании, конструировании и выпуске таких приборов, аппаратов и машин, которые соответствуют психо-физиологическим свойствам использующего их человека. Вместе с тем исследования биологических систем и психики, приводимые с кибернетическим прицелом, открывают новые перспективы перед автоматикой. Можно надеяться, что они помогут разработать новые принципы построения технических систем управления.

Пути решения многих проблем развития нашего общества неотделимы от широкого применения цифровых машин — этой главной технической базы кибернетики. Появившиеся 15—20 лет назад электронные вычислительные машины дискретного действия открыли невиданные до этого возможности переработки информации. Ныне машинные методы сбора, систематизации, хранения, переработки и использования научной, технической, производственной, экономической информации приобретают гигантское значение. В настоящее время глобальная — производственная, экономическая, военная, научная — мощь стран и государств во многом зависит от их возможностей в информационной сфере. Поэтому во всех экономически развитых странах быстро растет количество и повышается качество электронных цифровых машин и вычислительных центров.

Непрерывно увеличиваются возможности машин. Современные ЭВМ выполняют миллионы численных и логических операций в секунду. В электронной вычислительной технике происходят качественные сдвиги. Создаются системы вычислительных машин, соединенных в единое целое каналами связи. Такие системы предъявляют новые требования к конструкциям электронных машин, к системам ввода и вывода, сбора, хранения и передачи информации. Вычислительная математика и техника требуют, с одной стороны, развития теории — разработки новых принципов работы машин, а с

другой — дальнейшего прогресса радиоэлектроники. Этот прогресс ведет к достижению такой плотности упаковки информации в памяти машин, которая сравнима с плотностью упаковки информации в мозге человека.

От машин и приборов требуются надежность и долговечность. При этом проблема надежности является комплексной. Она включает широкий круг вопросов, относящихся к таким наукам и направлениям техники, как физика и химия, машиностроение и приборостроение, математика и экономика. Она включает в себя также и учет «человеческого фактора». Этот последний аспект проблемы носит во многом социологический характер и подлежит изучению нашими социологами.

В применении к информации проблема надежности есть прежде всего проблема ее достоверности. Для эффективного управления человеческим трудом, для рационализации обучения необходима полноценная информация: своевременная, точная, непротиворечивая (требование, существенное при поступлении информации по разным каналам связи), свободная от помех и искажений. Дефектность информации может нарушить функционирование всей данной системы управления. Поэтому кибернетика кровно заинтересована в полноценности информации — это не менее важно, чем качество промышленной продукции, строительства, работы транспорта и т. д.

Кибернетика открыла собой эпоху автоматизации умственного труда. Множество мыслительных действий и операций, на протяжении столетий считавшихся монополией человека, постепенно передоверятся электронным машинам.

Очевидно, что электронные машины будущего, быстрдействие которых будет измеряться миллиардами операций в секунду; машины с памятью, во много раз превышающей память человека; машины самообучающиеся, самоорганизующиеся; машины, работающие безотказно на протяжении длительного времени,— такие машины окажут человечеству неоценимые услуги. А что уж говорить о машинах нового типа, от которых ожидается, что они будут обладать своего рода самостоятельностью вплоть до «машинной эволюции» по критериям, заданным человеком, о машинах, способных приспособливаться к внешней среде, совершенствовать самих себя.

Важно подчеркнуть, что ни кибернетика, ни математика не подменяют наук об обществе и человеке. Они только содействуют расширению и углублению проводимых в этих науках исследований. Например, «кибернетическая педагогика» вовсе не означает замены или вытеснения человека-педагога машиной. Наоборот, идеи и средства кибернетики в обучении повышают роль преподавателя и методиста, радикально расширяя их возможности. При прочих равных условиях кибернетика лишь помогает решать задачи, которые выдвигаются в конкретных науках.

Кибернетика внесла и внесет много нового в методы человеческого познания и действия. К познавательным приемам, которые сложились в других науках, она присоединяет свои методы, памятуя, что применяться они должны в органическом единстве со всем арсеналом познания и воздействия на действительность, которым располагает цивилизация.

Н. П. БУСЛЕНКО, В. Н. БУСЛЕНКО

Одной из знаменательных особенностей переживаемого нами этапа научно-технической революции является удивительно быстрое развитие электронно-вычислительной техники, и стремительное расширение сферы практического применения ЭВМ. За последние годы вычислительная техника прошла путь от электронных мастодонтов 50-х годов (ЭВМ 1-го поколения) до современных мощных машин 3-го и 4-го поколений.

ЭВМ 1-го поколения строились на электронных лампах и были способны выполнять всего несколько тысяч арифметических операций в секунду. Они имели запоминающие устройства сравнительно небольшой емкости; размещение в памяти ЭВМ исходных данных задачи и промежуточных результатов ее решения требовало завидного трудолюбия и известных навыков. Надежность, безотказность ЭВМ и устойчивость вычислительных процессов не могли сколько-нибудь полно удовлетворить запросы практики. Для установки аппаратуры ЭВМ нужны были специальные залы площадью в сотни квадратных метров, оборудованные мощными энергетическими установками, кабельными каналами и холодильными агрегатами.

Современные ЭВМ создаются на миниатюрных полупроводниковых микросхемах (интегральных схемах) и имеют быстродействие несколько миллионов операций в секунду. Скорость работ многопроцессорных вычислительных систем может достигать 100—200 млн. операций в секунду и более. Память рассчитана на хранение огромных массивов информации, соответствующих миллионам страниц типографского текста (для сравнения: все тома Большой Советской Энциклопедии содержат около 50 тыс. страниц). Достигнуты значительные результаты в повышении надежности и устойчивости работы ЭВМ, а также в снижении потребляемой энергии и уменьшении габаритов аппаратуры.

Не менее грандиозен прогресс в практических применениях ЭВМ. Первоначально они выступали как сверхбыстродействующие арифмометры. Главное их преимущество усматривалось в возможности решения за короткие сроки задач, требующих большого числа арифметических операций. При проведении аэродинамических расчетов современных самолетов, оценке прочности сооружений, вычислении орбит искусственных спутников Земли и межпланетных кораблей за один час ЭВМ выполняла счетную работу, заменяющую многомесячный труд нескольких тысяч опытных вычислителей, работающих на электрических арифмометрах или клавишных автоматах.

И хотя скорость работы является важнейшей характеристикой ЭВМ, а увеличение быстродействия — одним из главных направлений развития вычислительной техники, со временем на передний план выступили другие ее свойства: наличие большой памяти и возможность программного управления вычислительным процессом. Для того чтобы подчеркнуть важность последнего обстоятельства, заметим, что основная трудность, которую вряд ли удалось бы преодолеть при ручном решении сложных задач, заключается в такой организации совместных действий многих вычислителей, при которой они пооперационно выполняют указания единого «дирижера», держащего в своей памяти требуемую последовательность вычислений. '

Наличие программного управления позволило «научить» ЭВМ решению очень сложных задач из различных областей техники и народного хозяйства, экспериментальной и теоретической физики, математической экономики, которые требуют отыскания оптимальных сочетаний параметров процесса, наилучших условий его реализации,

обеспечивающих максимум производительности оборудования или минимум затрат сил и средств. На этой стадии были окончательно сметены психологические барьеры неверия в практическую полезность ЭВМ и предсказано появление вычислительных центров, способных обеспечить выполнение гигантского объема вычислений для нужд народного хозяйства.

Однако даже в этот период, когда ЭВМ полностью овладела формальными логическими операциями и с их помощью начала проявлять простейшие интеллектуальные способности (например, из многих вариантов решения выбирать наилучший по некоторому критерию), для практики она еще оставалась сверхмощным арифмометром, а вычислительные центры представлялись в виде высокопроизводительных счетных фабрик.

Переломным моментом в понимании значения ЭВМ для современной науки и техники и их воздействия на человеческое общество, по-видимому, нужно считать исследования по «неарифметическим» применениям ЭВМ, начатые под влиянием кибернетических концепций Н. Винера и глубоких математических идей А. А. Ляпунова, В. М. Глушкова, А. И. Китова, С. В. Яблонского и ряда других ученых. Именно неарифметическое направление выросло в самостоятельную науку — машинную математику, методы которой проникают во все области человеческой деятельности и стимулируют применение ЭВМ в промышленности и медицине, космонавтике и архитектуре, экономике и музыке, торговле и сельском хозяйстве. ЭВМ теперь предсказывают погоду и регулируют уличное движение, водят поезда метро и компостируют билеты на авиатранспорт, играют в шахматы и управляют химическими реакторами. Число «профессий» ЭВМ непрерывно расширяется.

Подобно тому как паровая машина положила начало механизации физического труда человека, ЭВМ открывают пути для вторжения средств автоматизации в сферу, которая традиционно относилась к интеллектуальной деятельности людей.

Механизация физического труда, замена мышечной энергии человека энергией пара и электричества, а затем и атомной энергией, создание двигателей (автомобильных, авиационных, корабельных, технологических, бытовых), удобных в эксплуатации, внедрение станков-автоматов, способных обрабатывать металлы со скоростью и точностью, недоступной ручному труду человека, использование скоростных средств транспорта и связи — все это коренным образом преобразовало жизнь, труд и быт человека, изменило его психологию и общественное лицо. Для того чтобы продуктивно участвовать в современном процессе производства материальных благ, успешно управлять совершенным технологическим оборудованием, человек должен иметь соответствующую научную и техническую подготовку, профессиональные знания и навыки.

Заметим, что технический прогресс, вызванный механизацией физического труда человека, затронул людей не только сугубо технических или близких к ним специальностей. Все труднее, даже среди представителей профессий, весьма далеких от техники (например, работников искусства), найти человека, который не сумел бы пользоваться или управлять такими сложными по своей конструкции порождениями технического прогресса, как радиоприемник, телевизор, холодильник, лифт, автомобиль и т. д. Этот эффект достигается не только улучшением технической подготовки населения, но и специальными мерами, обеспечивающими простоту управления телевизором, лифтом или холодильником, доступность их для людей, не имеющих специальной подготовки по электронике, электродвигателям или холодильной технике.

Проникновение ЭВМ в сферу умственного труда людей происходит постепенно, под влиянием совершенствования аппаратуры ЭВМ, расширения их арифметических и логических возможностей, разработки новых методов машинной математики. Первоначально на ЭВМ (1-го и 2-го поколений) были переложены простейшие интеллектуальные функции человека — рутинная счетная работа. В этот период процедура решения задачи на ЭВМ состояла из следующих элементов:

- 1) прикладная постановка задачи;
- 2) формализация;
- 3) построение математической модели;
- 4) точная формулировка задачи;
- 5) выбор (или разработка нового) метода решения;
- 6) построение алгоритма решения задачи;
- 7) программирование (перевод с языка алгоритмов на внутренний язык операций ЭВМ);
- 8) ввод программы и исходных данных в ЭВМ;
- 9) решение задачи;
- 10) выдача результатов решения;
- 11) анализ полученных результатов;
- 12) прикладная интерпретация результатов решения.

Работа по пунктам 1—7, а также по пунктам 11 и 12 выполнялась человеком вручную. Пункты 1 и 12 входили в обязанности пользователя, т. е. лица, которому непосредственно нужны результаты решения задачи, пункты 2—6 и 11 выполнялись специалистом по машинной математике (пункт 2 обычно совместно с пользователем), а для работ по пункту 7 привлекались программисты, знающие программирование на данной конкретной ЭВМ.

Человек, обращающийся к ЭВМ (программист), приносил с собой колоду перфокарт или перфоленту, содержащую программу решения задачи и все необходимые исходные данные. Время занятости ЭВМ решением данной задачи (машинное время) состояло из двух частей: собственно времени решения задачи (времени занятости процессора — главной части оборудования ЭВМ, обеспечивающей выполнение программы вычислений и содержащей обычно арифметическое устройство, оперативную память и устройство управления) и времени ввода и вывода информации.

Практическое применение ЭВМ не создавало полной гармонии в работе и не внушало особого оптимизма: все здесь было насыщено противоречиями и парадоксами. В самом деле, ЭВМ способна выполнять тысячи и даже миллионы операций в секунду, а процесс решения задачи, от прикладной постановки до получения результатов, продолжается несколько месяцев, а иногда затягивается и на годы. Самое неприятное обстоятельство заключалось в том, что положение невозможно было исправить повышением скорости

работы ЭВМ. Доля машинного времени составляла не более чем несколько часов (редко несколько десятков часов). Основная часть затрат времени приходилась на ручную работу, связанную с подготовкой задачи для решения на вычислительной машине (пункты 2—7).

Сразу же заметим, что и машинное время распределялось нерационально. Быстродействующий электронный (и дорогостоящий) процессор более половины времени находился в состоянии простоя (иногда время производительной работы процессора составляло всего несколько процентов), пока работали медленные электромеханические устройства ввода и вывода информации.

Упомянутые обстоятельства приводили к тому, что применение ЭВМ для решения практических задач не всегда оказывалось достаточно эффективным и экономически целесообразным. Из сферы машинного решения выпадали срочные задачи, возникающие в процессе исследований или при проектировании, если для них не было заранее подготовленных программ.

Производительное использование быстродействия ЭВМ возможно было лишь для тех задач, которые требовали выполнения большого числа операций при малых затратах времени на ввод исходных данных и выдачу результатов решения. На деле сфера применения ЭВМ оказывалась заметно более узкой, чем представлялось на первый взгляд.

Нужно сказать, что в этот период в среде научных работников и инженеров, занимавшихся исследованиями в области ЭВМ и их практического применения, чувствовалась заметная неуверенность, колебания из одной крайности в другую. Время от времени вспыхивали ожесточенные дискуссии о путях и перспективах развития, об актуальности тех или других направлений в исследованиях. Возникающие проблемы оказывались нетрадиционными, решение их не вытекало естественным путем из достигнутого уровня развития математики и электроники продвижение вперед было связано с ломкой сложившихся представлений и преодолением различного рода психологических барьеров.

Взять хотя бы численные методы в математике. Сотни лет в угоду ручному счету развивались приемы и теории, сводящие решение задач к возможно меньшему числу арифметических операций, пусть несколько более сложных, чем сложение и умножение чисел, пусть требующих применения таблиц, специальных функций (например, логарифмических, тригонометрических и т. д.). И вдруг оказалось, что ЭВМ «не любят» операций, отличающихся от сложения и умножения, они даже готовы возведение в степень заменить многократным умножением. К таблицам — полное отвращение, ЭВМ лучше «согласна» каждый раз вычислять значение синуса или тангенса с затратой большого числа операций (например, путем разложения функций в степенные ряды), чем хранить таблицы этих функций в своей памяти и обращаться к ним в процессе вычислений. И вообще, пусть число требуемых операций будет весьма большим. Современная ЭВМ выполнит миллионы их за одну секунду, если... если они будут не какие угодно, а лишь такие, которые предусмотрены системой команд ЭВМ. А как свести к последовательности этих операций всевозможные возникающие на практике задачи — не ее забота. Пусть над этим думают математики.

Правда, система команд ЭВМ содержит не только операции сложения и умножения чисел. Она располагает значительным набором логических операций (сравнение, условные переходы, реализация дизъюнкций и конъюнкций и т. д.), а также специальными «чисто машинными» операциями: выделением части числа, переносом его в другую ячейку

памяти, реализацией циклов, манипуляциями над отдельными разрядами числа, операциями над массивами чисел и др. Тем не менее это не решает проблему автоматически. Математики не всегда готовы дать немедленно ответ на любой возникающий вопрос.

Аналогичное положение складывается и в области формализации и построения математических моделей. Если имеется практическая задача, в первую очередь необходимо составить уравнение, связывающее известные величины с неизвестными. Это правило усвоили все от школьника до академика. Пусть уравнение будет не очень простым, оно не обязательно должно быть алгебраическим. Никто не возражает против более сложных уравнений: трансцендентных (например, тригонометрических, показательных или логарифмических), дифференциальных, интегральных, интегродифференциальных и вообще любых функциональных! Методы решений таких уравнений хотя и сложны, но они известны математической науке. В крайнем случае всегда можно решить уравнение приближенно (например, методом последовательных приближений) с любой заданной степенью точности. Ведь электронно-вычислительные машины умеют быстро выполнять огромное число операций!

Все сказанное здесь формально справедливо и не вызывает возражений. А по существу... Располагая мощным вычислительным средством, таким, как ЭВМ, мы не хотим ограничиваться на практике грубыми расчетами. Развитие техники требует значительного повышения точности инженерных методов! Для проектирования современных самолетов нужен не линейный, даже не плоский, а пространственный аэродинамический расчет с учетом переменных условий движения, турбулентности и других особенностей, возникающих на границе обтекания. Для расчета гидросооружений недостаточны статические методы. Они заставляют нас вводить завышенные запасы прочности. Это приводит к излишним затратам материалов и времени строительства. Пора переходить на новые, динамические методы, обеспечивающие требуемую экономичность и оперативность строительных работ.

Математические методы планирования народного хозяйства, приводящие к задачам малой размерности, уже не удовлетворяют потребностей практики. Народнохозяйственные связи усложнились (специализация, кооперирование предприятий и отраслей промышленности), требования к сбалансированности планов повысились. Задачи стали многомерными.

Оказывается, что ЭВМ не готовы к решению уравнений в этих новых условиях. Многомерные динамические задачи требуют слишком большой памяти для запоминания исходных данных и промежуточных результатов расчета. Да и быстродействия, по существу, не хватает. Соревнование между ростом быстродействия и объема памяти ЭВМ и увеличивающейся сложностью практических задач складывается не в пользу ЭВМ.

А как же быть с атомными реакторами? Какова судьба современных ускорителей элементарных частиц, мощных межпланетных ракетных кораблей, радиолокационных станций для локации планет и слежения за искусственными спутниками Земли? Что делать с задачами химической кинетики, биофизики, математической геологии и огромного числа других новейших научных направлений и областей техники? Ведь к настоящему времени там еще далеко не все уравнения составлены. Классическая наука приучила нас к тому, что математическое описание сложных явлений, выполняемое отдельными крупными специалистами, продолжалось десятилетиями.

Конечно, жизнь идет вперед. Математические методы проникают во все более широкую сферу человеческой деятельности. Происходит математизация многих наук. Вместо

гениальных одиночек сейчас работу ведут талантливые научные коллективы, состоящие из десятков и сотен сотрудников. Однако даже с учетом этих перемен для построения математических моделей, обеспечивающих решение на ЭВМ задач современной науки и техники, требуются многие месяцы и даже годы.

Не лучше положение и в области программирования. Эта, казалось бы, простая, рутинная работа требует огромного времени. Программы для решения сложных задач уже содержат тысячи и даже десятки тысяч команд, а опытный программист за рабочий день способен «сделать» всего несколько команд. Поручить программирование сложной задачи большому коллективу программистов практически невозможно — никто не сумеет свести воедино отдельные части программы, приготовленные различными программистами. Речь может идти лишь о коллективе, состоящем всего из нескольких человек. Программа, приготовленная для одной ЭВМ, не годится, как правило, не только для ЭВМ другой марки, но и для других экземпляров ЭВМ данной марки, если не соблюдены соответствующие условия их комплектации оборудованием, стандартными программами и другими элементами математического обеспечения.

Для определения возникших трудностей необходимо было существенное продвижение вперед науки в первую очередь в область машинной математики, а также освоение новых рубежей вычислительной техники.

Исследования по неарифметическим применениям ЭВМ показали, что вычислительной машине доступна и более сложная «интеллектуальная» работа, чем обычные вычисления, если только эта работа может быть сведена к последовательности формальных процедур, выражающихся через операции ЭВМ. Среди других неарифметических применений ЭВМ (машинный перевод с одного языка на другой, распознавание образов, моделирование сложных систем, управление реальными объектами и процессами и т. д.) существенное место занимает машинное программирование задач.

Выше мы уже отмечали, что программирование можно рассматривать как перевод задачи с языка алгоритмов на внутренний язык команд (операций) ЭВМ. Процесс перевода представляет собой последовательное выражение алгоритмических процедур через совокупности операций ЭВМ и носит вполне формальный характер. В результате многолетних теоретических и экспериментальных исследований, выполненных различными научными коллективами, были созданы специальные алгоритмические языки, позволяющие записывать задачи, предназначенные для решения на ЭВМ, в виде, весьма удобном для последующего машинного программирования. Большой популярностью пользуются универсальные алгоритмические языки: АЛГОЛ, ПЛ-1, ФОРТРАН (с акцентом на инженерные расчеты), языки для обработки экономической информации — КОБОЛ, АЛГЕК, языки для машинного моделирования — СИМУЛА, НЕДИС и др.

Задача, записанная на алгоритмическом языке, вводится в ЭВМ и по специальной программе, называемой транслятором, переводится (транслируется) на язык операций ЭВМ. В результате мы получаем (в памяти ЭВМ) готовую машинную программу, которую можно использовать для решения задачи.

Выбор алгоритмического языка не зависит от того, на какой машине предполагается решать задачу, он скорее определяется видом задачи (так называемые проблемно-ориентированные языки). Поэтому специалисту по машинной математике, работающему в данной области, достаточно, как правило, знать один алгоритмический язык, наиболее широко применяемый в этой области. Алгоритмический язык изучить легче, чем правила

ручного программирования на конкретной ЭВМ. Задача, записанная на данном алгоритмическом языке, может быть транслирована на любую ЭВМ, если только имеется соответствующий транслятор (для каждого языка нужен свой транслятор на каждый тип ЭВМ).

Средства автоматизации программирования (алгоритмические языки, трансляторы и др.) позволяют значительно сократить затраты времени на подготовку задач для решения на ЭВМ — в этом их главное значение. Кроме того, широкое внедрение средств автоматизации программирования приводит к постепенному исчезновению одного из промежуточных звеньев между пользователем и ЭВМ, а именно звена «программист». Для значительного круга пользователей, имеющих математическую подготовку в объеме обычного высшего инженерного образования и способных самостоятельно овладеть алгоритмическими языками, может со временем исчезнуть и второе промежуточное звено — «специалист по машинной математике». Тогда пользователь будет непосредственно общаться с ЭВМ. Последнее утверждение тем скорее станет совершившимся фактом, чем скорее программы учебных заведений пополнятся наиболее распространенными методами машинного решения инженерных задач, а последние станут достаточно универсальными и доступными для студентов. Естественно, что это потребует дальнейшего развития машинной математики и совершенствования подготовки специалистов. Однако уже сегодня имеются тысячи инженеров, которые не только дают прикладную постановку задач для ЭВМ по своей узкой специальности, но умеют формализовать ее, создать соответствующие математические модели, разработать методы решения, записать задачу на алгоритмическом языке, решить ее на ЭВМ и проанализировать результаты решения.

С другой стороны, всегда останется достаточно широкое поле деятельности для специалистов по машинной математике. Вряд ли когда-нибудь может оказаться исчерпанной потребность в создании новых, более совершенных методов решения задач на ЭВМ, а также в исследованиях, связанных с проникновением ЭВМ в новые области человеческой деятельности.

Заметим также, что, кроме инженеров, способных получить непосредственный доступ к ЭВМ сегодня и в ближайшие годы, существует огромное число пользователей, нуждающихся в применении ЭВМ, для которых овладение алгоритмическими языками (по крайней мере в современном их виде) и особенно методами формализации и алгоритмизации задач вряд ли будет доступно и практически целесообразно. И число таких пользователей будет увеличиваться по мере расширения сферы практического применения ЭВМ.

Важнейшим событием в развитии вычислительной техники следует считать появление ЭВМ 3-го поколения.

Переход на новые элементы (интегральные схемы), естественно, способствовал улучшению качества аппаратуры ЭВМ, повышению ее надежности, быстродействия, уменьшению габаритов, потребляемой энергии и т. д. Однако не только в этом значение ЭВМ 3-го поколения. Главное их отличие от ЭВМ 1-го и 2-го поколений состоит в принципиально новой организации вычислительного процесса и существенном продвижении проблемы общения человека с ЭВМ.

ЭВМ 3-го поколения перерабатывают не только цифровую, но и алфавитно-цифровую информацию. Оперирование над буквами, словами, фразами, текстами, как легко понять, открывает более широкие возможности для обмена содержательными сообщениями между человеком и ЭВМ. Заметим, что способность перерабатывать тексты позволяет

хорошо организовать обработку поступающих в ЭВМ документов и вырабатывать автоматически, при помощи ЭВМ, новые документы.

Упрощение процедур общения человека с ЭВМ 3-го поколения происходит главным образом в следующих трех направлениях.

Первое связано с созданием разветвленных технических средств ввода и вывода информации. Если в машинах 1-го и 2-го поколения мы могли вводить информацию в основном с перфокарт, то в машинах 3-го поколения, помимо этого, используется целый ряд других способов ввода информации. Важнейшим из них является ввод информации в машину непосредственно из каналов связи, которые могут передавать данные от объектов, находящихся на больших расстояниях (сотни и тысячи километров), по обычным телеграфно-телефонным линиям связи.

Кроме того, получают распространение так называемые читающие автоматы, которые могут считывать тексты — типографские, машинописные или написанные от руки — и вводить их в ЭВМ с большой скоростью (500 знаков в секунду и более). Очень распространенным способом ввода данных в ЭВМ является ввод с телетайпа — обычной пишущей машинки, которая может быть установлена на пульте ЭВМ, в соседней комнате или в другом городе. Некоторые машины, например отечественная ЭВМ «МИР-2», позволяют вводить информацию при помощи так называемого светового карандаша, или светового пера. Содержимое оперативной памяти ЭВМ отображается на телевизионном экране. Человек, работающий на ЭВМ, может часть имеющейся там информации зачеркнуть или дописать новые данные. Эти изменения немедленно вводятся в оперативную память.

Проведены успешные эксперименты по вводу в машину информации с голоса. Правда, сейчас, может быть, нет особой необходимости в практическом использовании такого способа ввода, но технические возможности для этого есть.

Машины 3-го поколения обладают разветвленной системой устройств вывода информации. Кроме перфокарт и перфолент, можно выдавать информацию непосредственно телеграфным или телефонным каналом связи для передачи на большие расстояния.

Имеются также быстродействующие печатающие устройства, которые способны печатать тексты с большой скоростью — несколько тысяч знаков в секунду.

Наконец, для наглядного отображения хода решения задачи или результатов решения машины 3-го поколения имеют систему табло и экранов, на которых может высвечиваться любая информация, поступающая из ЭВМ. Табло используется обычно для отображения заранее предусмотренных характеристик, а экраны для того, чтобы можно было вывести любую информацию по желанию человека.

Второе направление связано с упрощением входного языка ЭВМ и приближением его к обычному человеческому языку. Уже сейчас созданы проблемно-ориентированные входные языки, близкие по своему характеру к техническим жаргонам некоторых областей техники. Например, входной язык ЭВМ «МИР» очень удобен для описания задач, возникающих при различных инженерных расчетах. Использование его доступно любому инженеру, не имеющему специальной подготовки по программированию.

Разрабатываются и успешно внедряются программы морфологического и синтетического анализа фраз входного языка. Эти программы позволят обращаться к ЭВМ не на алгоритмическом языке, а на обычном, разговорном, почти неформализованном языке.

Третье направление обусловлено тем, что современным ЭВМ свойственны специальные режимы работы, которые не только упрощают обращение людей к ЭВМ, но и расширяют возможности самих ЭВМ. Дело в том, что ЭВМ 3-го поколения устроены по принципу независимой и параллельной работы всех устройств: процессоров (их может быть несколько), устройств ввода, вывода, отображения информации, средств внешней памяти и т. д.

ЭВМ может одновременно решать несколько задач на своих арифметических устройствах и параллельно производить ввод и вывод информации, поиск ее во внешней памяти по заданным признакам или адресам, а также перезапись информации с одного участка памяти в другой.

В режиме «разделения времени» ЭВМ может работать одновременно с многими абонентами, находящимися на больших расстояниях у специальных «выносных» пультов. Особенность машин 3-го поколения заключается в том, что эти машины для своей работы требуют специальной совокупности программ, которая называется внутренним математическим обеспечением ЭВМ.

Главной частью внутреннего математического обеспечения является так называемая операционная система. Эта система программ координирует работу всех устройств машины, распределяет между ними обязанности, выполняет функции диспетчера, переключает связи между устройствами и т. д. Нужно отметить, что машина 3-го поколения без операционной системы работать не может — это вообще не машина, а только совокупность отдельных разрозненных устройств.

ЭВМ 3-го поколения имеют внешнюю память на магнитных дисках или лентах для хранения больших массивов информации и совокупности программ так называемого внешнего математического обеспечения (трансляторы, интерпретирующие системы, программы решения различных задач и т. д.).

Отмеченные особенности позволяют использовать ЭВМ 3-го поколения в виде так называемых «информационных систем», создаваемых для автоматического сбора, хранения, переработки и выдачи особенно больших массивов информации.

Человеку, работающему с информационной системой, нет нужды каждый раз вводить вручную исходные данные для решения той или другой задачи. Все необходимые данные хранятся в огромной внешней памяти, поступая туда автоматически, в соответствии с определенным порядком, предусматривающим передачу данных в ЭВМ в момент их возникновения на том или другом реальном объекте, связанном с ЭВМ. Эти данные непрерывно обновляются и пополняются независимо от того, когда человек будет решать возникающие у него задачи.

Например, в отраслевой автоматизированной системе управления по телеграфным или телефонным каналам связи через телетайпы, расположенные на основных предприятиях отрасли, в ЭВМ систематически в заранее предусмотренном порядке вводятся данные о состоянии производства, наличии сырья и материалов, выпускаемой продукции, поставках по внутриотраслевой и межотраслевой кооперации, загрузке оборудования, появляющихся узких местах и т. д., а также другая оперативная, плановая, финансовая и

статистическая информация. ЭВМ при помощи специальных программ анализирует и сортирует поступающие сведения и размещает их в соответствующих зонах памяти. Процесс накопления данных, замены устаревших свежими, обновления тех или других массивов памяти происходит непрерывно, независимо от тех задач управления отраслью, которые в тот или другой момент времени решает ЭВМ. В памяти также хранится постоянная (точнее, редко сменяемая) информация: материальные и трудовые нормативы, ГОСТы, справочники, цены, сведения по типовым технологическим процессам, квартальные и месячные планы, отчеты и т. д.

Работники министерства (ведомства) обращаются к ЭВМ по мере надобности для получения различных справок и решения тех или других задач управления отраслью. ЭВМ может выдавать простые справки, для формирования которых достаточно отыскать нужные сведения в памяти и выполнить над ними лишь простейшие операции (например, суммирование или выражение в процентах). ЭВМ способна также выдавать сложные справки, для формирования которых необходимо выполнить большое число громоздких вычислений и сопоставление многообразных сведений между собой. Кроме того, ЭВМ, располагая сведениями о состоянии производства, указаниями директивных органов и нормативными данными, может выполнять любые расчеты, связанные с планированием производства, снабжения и сбыта, распределением сырья и материалов, перевозками готовой продукции, и многие другие.

Учитывая быстрое действие ЭВМ, скорость ввода и вывода данных, наглядность отображения результатов решения задач, общение человека и ЭВМ можно осуществить в форме диалога, протекающего в темпе обычной беседы, когда очередные реплики собеседников (вопросы, ответы и т. д.) отстоят друг от друга на несколько секунд.

Информационные системы такого типа могут быть применены не только для управления отраслью или предприятием. Большой практический интерес представляют информационные системы для проектирования машин, электронного оборудования, технологических процессов, научного и технического эксперимента, диагностические медицинские системы, библиографические системы научно-технической информации, системы изучения спроса на те или иные товары и другие справочные системы широкого назначения.

В памяти ЭВМ, работающей в системе проектирования оборудования или технологических процессов, размещаются не только нормативные и справочные данные, но и фрагменты конструктивных элементов и технологических операций вместе с характеристиками оптимальных условий их применения в типичных случаях, методы расчета конструкций и технологии, методы оценки их эффективности, методы анализа и синтеза структур и т. д.

Внешняя память ЭВМ, способная хранить миллионы страниц печатного текста, может служить исчерпывающим справочником всех известных научных и технических результатов по любой выбранной отрасли народного хозяйства и области знаний.

Обладая высоким быстродействием, ЭВМ способна выполнить многочисленные расчеты и сопоставления различных конструктивных или структурных вариантов для обоснованного выбора наилучшего из них — оптимального варианта.

Практическое значение информационных систем рассматриваемого типа для научно-технического прогресса и развития народного хозяйства трудно переоценить. Поэтому следует рассчитывать на их дальнейшее усовершенствование и широкое распространение.

Уже в настоящее время идет речь о создании автоматизированных систем управления для отраслей легкой промышленности и сферы обслуживания, а также общесправочных систем массового пользования. В будущем, по-видимому, проникновение ЭВМ в сферы труда, культуры и быта людей может быть еще более глубоким.

До сих пор мы говорили об уровне общения человека с ЭВМ на современном этапе. Указали на тенденцию проникновения ЭВМ во все сферы человеческой деятельности. Однако расширение круга возможных пользователей ЭВМ сильно ограничено тем, что формальная постановка задачи (построение математической модели) и разработка метода решения доступны в настоящее время только специалистам по машинной математике. О возможности расширения круга пользователей и пойдет речь в дальнейшем.

Основной вопрос, который следует при этом решить, заключается в возможности ликвидировать последнее промежуточное звено между пользователем и ЭВМ — звено «специалист по машинной математике». Важно еще раз подчеркнуть, что необходимо не совместить профессии пользователя и специалиста по машинной математике, а ликвидировать это звено. Другими словами, можно ли переложить на машину работу, связанную с формализацией и разработкой метода решения задачи, поставленной пользователем перед ЭВМ в неформальном виде на интуитивном уровне рассуждений?

Ответ на этот вопрос, исходя из известных в настоящее время методов машинной математики, должен быть отрицательным, если речь идет о решении любой задачи в самом общем случае. Не исключается, что в будущем наука найдет новые подходы к такого рода проблемам...

Однако если упомянутый вопрос ставить в более практическом плане по отношению не к любым, а к наиболее распространенным типам задач и не в общем случае, а при соблюдении разумных ограничений, то уже сейчас просматриваются пути, ведущие к существенному продвижению вперед.

Современная информационная система способна решать только те задачи, для которых формализация и выбор метода решения выполнены человеком. Для некоторого (может быть, достаточно большого) набора задач в ее памяти хранятся либо готовые программы, либо готовые фрагменты программ (микропрограммы), из которых специальная программа-компилятор может построить программу решения данной задачи по заданию, составленному человеком.

Легко заметить, что информационная система является не универсальной, а скорее всего проблемно ориентированной, направленной на решение некоторого определенного класса задач, имеющих отношение к какому-нибудь конкретному объекту или совокупности конкретных объектов. Это вытекает не только из практических соображений о целесообразности построения информационных систем для тех или других конкретных целей (управления отраслью народного хозяйства, медицинской диагностики, проектирования электронных устройств и т. д.). Здесь играет роль и то обстоятельство, что внешняя память ЭВМ, входящая в состав информационной системы, хотя и велика, но имеет ограниченный объем; она может содержать информацию, относящуюся к какой-нибудь одной (хотя и достаточно широкой) практической проблеме.

Аналогичные соображения справедливы и относительно набора задач, программы которых хранятся в памяти информационной системы.

Как показывает опыт применения ЭВМ в различных сферах науки, техники и народного хозяйства, в любой узкой области можно всегда выделить один или несколько основных процессов или объектов, может быть достаточно сложных, исследование которых и порождает большинство задач, возникающих на практике в этой области. Более того, математические модели, используемые для формализации задач и выбора метода решения, оказываются фрагментами общих моделей основных процессов, характерных для данной области.

Рассмотрим, например, процесс функционирования крупного склада материально-технического снабжения. Обработка грузов, поступающих на склад, состоит из многих этапов: разгрузка, перевозка в зону предварительного хранения, распаковка, проверка, адресация, стеллажирование (штабелирование) и т. д. На каждом этапе фигурирует поток грузов, подлежащих обработке, и технические средства, управляемые людьми, выполняющие совокупность операций, связанных с обработкой грузов. Для решения задач, возникающих при рассмотрении конкретного этапа (таких, как распределение грузопотоков между единицами оборудования, оценка времени выполнения заданного объема работ, определение числа единиц оборудования, необходимого для выполнения заданного объема работ в заданное время и т. д.), можно построить математическую модель в виде многоканальной системы массового обслуживания и для решения задач воспользоваться соответствующими методами теории массового обслуживания. В этом случае математическую модель процесса переработки грузов на всех этапах легко представить в виде многофазной системы массового обслуживания.

Таких примеров можно привести сколько угодно. Математическая теория систем располагает методами формального описания объектов различной природы и способами сопряжения их в сколько угодно сложные структурные объединения. Здесь существенную роль играют теория автоматов, теория динамических систем, теория случайных процессов и другие математические дисциплины.

Для успешного решения обсуждаемой здесь проблемы важно принять ограничение, согласно которому общий процесс, подлежащий исследованию, представляет собой конечный набор элементарных процессов, а каждый элементарный процесс с достаточной для практики точностью описывается конечным набором параметров. Это предположение с принципиальной точки зрения значительно сужает класс рассматриваемых формализованных схем, однако в практическом плане оказывается вполне приемлемым для любых известных авторам реальных задач.

Отсюда вытекает, что для любого общего процесса, относящегося к области, охватываемой данной информационной системой, можно построить конечную иерархию параметров, зависимости между которыми определяются структурой математической модели, описывающей элементарные процессы и сопряжение их в единый общий процесс. Например, в случае многофазной системы массового обслуживания, которую мы используем в качестве модели процесса переработки грузов на складе, на каждом уровне иерархии, соответствующем данному этапу, имеются параметры, описывающие интенсивность потока грузов (число единиц груза за единицу времени), время обработки каждой единицы груза и число единиц оборудования (число каналов обслуживания).

Пусть имеется информационная система, предназначенная специально для склада материально-технического снабжения, хранящая в своей памяти наряду с фрагментами программ для решения задач, относящихся к отдельным фазам обслуживания, также и описанную выше иерархию параметров и общую модель многофазной системы. Если пользователь обращается к такой информационной системе с неформализованной

постановкой задачи (например, «сколько нужно добавить автопогрузчиков на данную технологическую линию, чтобы ликвидировать угрозу невыполнения сменного задания, и с каких технологических линий целесообразно перебросить автопогрузчики на данную линию?»), то ЭВМ по специально подготовленным программам может «найти» среди параметров имеющейся иерархии такие параметры, как «число единиц оборудования (число автопогрузчиков)» и «число единиц груза (объем сменного задания)» для данной технологической линии. В задании вопрос «сколько» относится к числу единиц оборудования, значит, этот параметр является искомым в поставленной задаче, а число единиц груза — известной величиной.

По этим данным ЭВМ может «упорядочить» параметры: поставить число единиц оборудования в разряд искомых величин, а число единиц груза — в разряд заданных. По схеме иерархии параметров ЭВМ далее определит остальные величины, от которых зависит искомая, в данном случае — длительность оставшейся части смены, скорость перевозки грузов автопогрузчиком, его грузоподъемность и т. д. При этом из общей математической модели многофазной системы можно выделить ту часть, которая необходима для решения поставленной задачи. Таким образом, ЭВМ «сама» провела требуемую формализацию задачи и «получила» математическую модель. Для построения алгоритма решения задачи остается определить порядок действий ЭВМ над заданными величинами и фрагментами программ, моделирующих процесс переработки грузов.

Обратим внимание здесь на следующее обстоятельство. Если заданные параметры предшествуют искомым по схеме иерархии, то задача может быть отнесена к классу так называемых «прямых» задач и для ее решения достаточно реализовать на ЭВМ выделенную часть математической модели. В противном случае, когда хотя бы один искомый параметр предшествует хотя бы одному из заданных, задача относится к классу «обратных» и требует многократной реализации модели для выбора подходящего значения искомого параметра методом последовательных приближений или одним из способов оптимизации. Полученных сведений достаточно для того, чтобы программа-компилятор могла сформировать конкретную программу для определения требуемого числа единиц оборудования.

Данный пример показывает, что ЭВМ при помощи схемы иерархии и полной модели процесса способна автоматически, без вмешательства человека, обеспечить переход от неформальной постановки задачи к программе ее решения. Этот переход совершается обычными средствами внутреннего математического обеспечения информационной системы без привлечения каких-либо новых методов, связанных с машинным интеллектом более высокой организации, чем имеется в настоящее время. В то же время для рассматриваемого очень узкого и весьма частного случая решена проблема переложения на ЭВМ работы по формализации задачи, построению математической модели и разработке метода ее решения, относящаяся в общем случае к компетенции человека — специалиста по машинной математике.

Скептики могут возразить, что в данном случае ЭВМ всего только «нашла» в своей памяти метод решения задачи, который заранее был в нее заложен, что обсуждаемая процедура эквивалентна автоматическому выбору одной из имеющихся в информационной системе готовых программ. С одной стороны, с этим возражением можно согласиться. Но мы и не задавались целью сообщить машине какие-нибудь сверхъестественные творческие способности. Наша цель состояла лишь в том, чтобы пользователь, обращаясь к ЭВМ с неформальной постановкой задачи, мог получить ее решение. Прогресс как раз и заключается в умении «заложить» в ЭВМ такую информацию и такие программы, которые приводят к успеху.

С другой стороны, упомянутое возражение не совсем справедливо. Для более сложных случаев разработка большого числа программ для всевозможных задач, которые могут возникнуть на данной информационной системе, практически неосуществима. Кроме того, возникли бы серьезные трудности, связанные с размещением программы в памяти ЭВМ и поиском именно той программы, которая нужна для решения данной задачи. Последний вопрос сам по себе не менее труден, чем создание нового метода решения.

Более важным является другой вопрос: можно ли изложенный выше принцип использовать для широкого класса задач в достаточно общем случае? Положительный ответ на этот вопрос обосновывается тем, что за последние годы появились достаточно универсальные математические схемы для описания сложных систем и ввода информации о них в ЭВМ. Далее, получены обнадеживающие результаты по унификации методов и машинных процедур количественного и качественного исследования систем. Это обещает появление несложных способов распознавания структуры задачи по иерархии параметров, тем более что режим диалога, который доступен даже современным информационным системам, позволяет привлечь к решению этого вопроса и человека-пользователя. Если пользователь не способен непосредственно принять участие в формализации задачи, он может оказать исключительно серьезную помощь ЭВМ тем, что будет соглашаться с вариантами формализации, предлагаемыми ЭВМ, или отвергать их в зависимости от их логической непротиворечивости.

Наконец, источником оптимизма должно быть широкое распространение, которое получает в наши дни системный подход к практическим задачам, решаемым на ЭВМ. Многочисленные работы по прикладным вопросам кибернетики, системотехники, исследования операций и других научных направлений способствуют усвоению концепции системного подхода все более многочисленным кругом людей, имеющих отношение не только к технике, но и к любым другим сферам человеческой деятельности. Поэтому есть надежда, что пользователь, даже далекий от машинной математики, со временем при постановке задач для ЭВМ будет мыслить категориями, в той или другой степени соприкасающимися с системным подходом.

В заключение хочется подчеркнуть, что рассматриваемые здесь принципы решения проблемы непосредственного общения пользователя с ЭВМ, по-видимому, будут в обозримое время реализованы для отдельных узкоспециальных информационных систем. Разработка аналогичных методов универсального назначения скорее всего встретится с серьезными трудностями принципиального порядка.

Естественно, что возможны и другие подходы к проблеме общения человека с ЭВМ. Несомненно одно, что в ближайшие годы ЭВМ, особенно информационные системы, займут более значительное место в жизни людей. Поэтому проблема взаимного общения, совместного решения задач и других видов сотрудничества человека с ЭВМ представляет большой интерес.

ЭВМ И НАУКА

**ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ
В ИССЛЕДОВАНИЯХ И РАЗРАБОТКАХ**

КАРЛ ХАММЕР

Возможности, которыми обладают современные ЭВМ, выходят за пределы воображения даже специалистов. Объем работы, выполняемой сейчас в США при помощи около 100 тыс. ЭВМ, вручную в реальные сроки выполнен быть не может: для этого потребовалось бы около 400 млрд. человек, что в 100 раз больше населения Земли. В современном мире с его громадными информационными потоками обработка информации (в самом широком смысле этого слова) стала обязательным условием существования и прогресса общества.

Когда Колумб высадился в Новом Свете в 1492 г., он не знал, где оказался. Только через много лет мир узнал о его отважном путешествии, и спустя десятки лет человечество осознало важность сделанного им открытия. Когда Армстронг в 1969 г. ступил на поверхность Луны, он точно знал, куда попал, так как полет происходил по строго определенному маршруту, а весь мир наблюдал за ним в реальном времени. Менее чем за 500 лет человечество прошло путь от примитивных форм обмена информацией к высокому уровню совершенства, который был достигнут с помощью 200 ЭВМ, используемых в программе «Аполлон».

ЭВМ в научных исследованиях стали одним из самых эффективных орудий человека. Они находят применение в гуманитарных науках, в управлении большими системами и даже в управлении самими общественными процессами. Сталкиваясь со все более сложными задачами, руководители государств и промышленности придают все большее значение созданию крупных банков данных и сложных математических моделей.

Управление при помощи ЭВМ

В США управление при помощи ЭВМ уже получило достаточно широкое распространение в таких отраслях промышленности, как химическая, нефтехимическая, целлюлозно-бумажная, металлургическая, а также на предприятиях по переработке отходов и очистке воды. Например, в технологическом процессе, обычно используемом для производства бумаги, водная смесь целлюлозных волокон поступает через распределитель на движущуюся проволочную сетку. По мере того как вода стекает через отверстия сетки, часть целлюлозы задерживается в виде слоя, который затем становится листом бумаги. Сетка с таким слоем пропускается через сифонные камеры, которые удаляют влагу, после чего слой снимается с сетки и пропускается между вальками бумагоделательной машины. Затем он поступает в сушильное отделение для выпаривания остаточной влаги.

Бумагоделательная машина представляет собой хороший пример для исследовательского моделирования взаимосвязей между различными физическими процессами. Однако не все эти взаимосвязи достаточно хорошо изучены, и соответствующая технология в значительной степени основана на эмпирическом опыте. Разработанные в настоящее время более совершенные модели данного технологического процесса позволяют определить зависимость между плотностью листа, содержанием влаги и другими свойствами полуфабрикатов и готовых изделий и такими входными величинами, как подача материала, скорость работы машин, давление пара в сушильном отделении и т. д. Простые статические модели позволяют получать только равновесные значения переменных; более совершенные динамические модели предоставляют и изменения этих переменных во времени.

Ввиду сложности большинства промышленных процессов для создания их эффективных моделей часто необходимо затратить много человеко-лет исследований и значительные средства на сбор данных, не говоря уже о стоимости машинного времени. Примерами экономически рационального моделирования могут служить: определение технологических параметров, которые обеспечивают максимальную экономичность процессов; разработка более совершенных систем управления для сведения к минимуму брака при выпуске изделий; создание новых или усовершенствование существующих процессов.

При разработке и построении моделей технологических процессов необходимо выполнить большой объем числовых расчетов. Сейчас, когда в нашем распоряжении имеются мощные ЭВМ, с точки зрения вычислительных возможностей практически осуществимо любое моделирование процессов. С точки зрения уровня наших знаний основным препятствием, ограничивающим моделирование, является недостаточное понимание основных механизмов технологических процессов. Для многих важных процессов попросту неизвестны количественные величины коэффициентов диффузии, скорости реакций, растворимости и т. д.

По мере развития исследований по динамическому моделированию статистические модели, используемые на нефтеперерабатывающих, химических и металлургических заводах, все в большей степени предназначаются для управления массовым производством с использованием мини-ЭВМ. Эти машины стоят сравнительно недорого, и для них сейчас разрабатываются стандартные наборы программ. Исполнительная программа, параметры каждого изделия и стандартные подпрограммы обычно записываются во внутренней памяти. Программы управления различными технологическими процессами часто записываются в накопитель на магнитной ленте и в случае необходимости вводятся в машину программой-загрузчиком. Такие системы также обеспечивают печатание результатов, обнаружение ошибок, контроль окончания технологической операции и прямое цифровое управление. Это управление обычно реализуется путем разделения исполнительной программы на равные по времени подциклы. Многие специалисты в области электронно-вычислительной техники и ее математического обеспечения считают, что микропрограммы позволяют получить более универсальные машинные языки, расширить наборы команд и снять с пользователя громадную работу по программированию, которую ему довольно часто приходится выполнять.

В последнее время в США электронные системы начали также применяться для управления штучным производством. При использовании их в качестве устройств регистрации и контроля работы оборудовался руководящий персонал получает оперативные данные для немедленного анализа.

Когда ЭВМ управляет технологическим объектом, основными видами выходной информации являются решения, инициирующие определенные операции над объектом, например запуск двигателей, включение клапанов или перемещение определенных деталей. По сравнению с системами обработки данных вычислительные машины, служащие для управления технологическими объектами, меньше по размерам: здесь часто достаточно использование мини-ЭВМ. Мини-машины соединяются с управляемыми объектами при помощи устройств связи с объектами. Эти устройства часто выполняют все операции аппаратно при полном управлении ЭВМ. В последнее время они конструируются целиком на полупроводниковых элементах (больших интегральных схемах).

При управлении автоматизированной установкой ЭВМ выполняет следующие функции: управление установкой, контроль за ее работой, обнаружение и диагностика неисправностей, сопоставление заданных и фактических рабочих характеристик процесса, выявление неисправностей в работе оборудования.

С появлением мини-ЭВМ, способных взаимодействовать с крупной универсальной системой, была разработана и реализована концепция информационно-управляющего центра предприятия. В настоящее время такие центры выполняют следующие функции: расчет операционных графиков и их коррекцию в реальном времени в зависимости от наличия оборудования и материалов; управление потоками изделий и запасами, сборкой, складированием, погрузочно-разгрузочными работами и отгрузкой готовой продукции; управление технологическими процессами, включая контроль за качеством продукции, выявление производственных дефектов и контроль за исправностью оборудования.

За последнее время важный аспект производства оказался связанным с ответственностью изготовителя за качество как всего изделия, так и его отдельных компонентов, не ограничиваемой условиями гарантии. Поэтому для каждого изделия и узла, проходящего через технологический цикл, на предприятии ведется полная документация, что облегчает изъятие изделий и узлов в случае обнаружения в них дефектов, а также контроль за качеством готового изделия при его работе. Документация ведется по всем деталям для получения полной контрольно-учетной информации по всему циклу изготовления изделий. Исходным компонентам присваиваются порядковые номера, по которым они могут контролироваться в любом подразделении предприятия даже после того, как детали и узлы использованы для изготовления конечных изделий, имеющих серийный номер.

Документация по управлению производством может использоваться для сравнения производительности нескольких одинаковых технологических установок, для сопоставления качества изделий на различных технологических линиях многофазного процесса и для сравнительной оценки машинных и ручных операций и их роли в общем цикле производства.

Информационно-управляющий центр на промышленном предприятии, как правило, является системой с разделением времени. Концентраторы данных подают информацию в центр с частотой, определяемой алгоритмом системы. Эти устройства установлены во всех подразделениях предприятия и соединены каналами передачи данных с центром. Если какая-либо установка выходит из строя, то такая система способствует оперативному устранению неисправности. Она обеспечивает также периодический или выборочный контроль целесообразности затрат сверхурочного времени. Система может контролировать (ежедневно, еженедельно или по специальной команде) общий режим работы оборудования. Такой комплексный системный подход обеспечивает повышение производительности, улучшение качества продукции, уменьшение брака и более рациональное управление, т. е. повышение общей эффективности всего производства. Кроме того, он позволяет четко выявить взаимосвязи между человеком и машиной и тем самым приводит к повышению производительности труда рабочих и их удовлетворенности работой.

С 50-х годов начала развиваться машинная графика. В 60-х годах она получила достаточно широкое распространение, что в значительной степени объясняется поддержкой со стороны областей промышленности, обеспечивающих космические исследования и разработки. Сейчас в практическом проектировании машинная графика применяется в основном для анализа и конструирования.

Ниже приводится ряд примеров применения машинной графики в системах с разделением времени.

1. *Моделирование полетных характеристик самолета.* Непрерывные процессы моделируются на цифровой ЭВМ; входные и выходные переменные воспроизводятся на визуальном устройстве воспроизведения — дисплее. При использовании языка GIMP могут моделироваться как статические, так и динамические процессы. Например, на экране дисплея могут наблюдаться следующие режимы: балансировка, скольжение на крыло, полет против ветра, пробежка и взлеты для различных конструкций самолетов. На дисплее может воспроизводиться воздействие на самолет систем, работа которых основана на трении, сжатии, упругой деформации.

2. *Анализ структуры корпуса самолета.* Разработаны методы моделирования, основанные на двумерном представлении элементов конструкции. Ведется работа по применению этих методов для исследования трехмерных конфигураций, элементов с изменяющейся геометрией при воздействии переменных внешних нагрузок и при анизотропных характеристиках отдельных элементов.

3. *Пересекающиеся балки.* Одна из типовых программ позволяет получить математическое описание структурной модели, состоящей из двух наборов параллельных балок, пересекающихся под прямым углом. Модель позволяет вычислять результирующие изгибающие моменты и деформации в точках пересечения при приложении к ним сосредоточенной нагрузки.

4. *Система машинной графики и конструирования.* Обеспечивает конструирование, построение и графическое представление изделия, а также цифровое управление его изготовлением. По своему существу эта система является «чертежным» устройством, работающим на базе аппарата начертательной геометрии. Из отрезков прямых, окружностей, эллипсов и т. д. строятся сложные фигуры. Конструкторские схемы быстро преобразуются в технические чертежи. Система может совмещать различные виды и проекции изделий, выполнять компоновку и детализовку.

Основной задачей при разработке систем машинной графики было создание устройства, ориентированного на потребности пользователя. Воспроизводимое изображение и операции, которые необходимо над ним произвести, должны быть в принципе известны пользователю. Если он конструктор и использует экран как чертежную доску, то методы построения на экране не должны существенно отличаться от методов построения на чертежной доске. С помощью крупных систем с разделением времени такой разработчик может обеспечить высокую точность и технологичность конструирования.

О применении вычислительной техники в клинической медицине

За 25 лет после создания транзистора цифровые ЭВМ были значительно усовершенствованы, уменьшились их габариты, возросли скорости и вычислительные мощности. За тот же период клиническая медицина также шагнула далеко вперед. Так, например, операции на сердце стали обычным хирургическим вмешательством, профилактическая медицина и массовые обследования получают все более широкое распространение, а диагностические тесты, такие, например, как ЭКГ или химический анализ крови, производятся в массовом порядке. Это только пример достижений медицинской науки. Одним из результатов такого прогресса явилось значительное увеличение количества информации, которую врачи должны собирать, сортировать, анализировать, классифицировать, а затем практически использовать. Ввиду этого медики

обратились к специалистам по вычислительной математике и технике за помощью в решении проблем, связанных со всевозрастающим потоком медицинской информации. В течение прошедших 20 лет эти две категории ученых тесно сотрудничали в области медико-вычислительных задач.

Применение ЭВМ в медицинских исследованиях показало, что роль ЭВМ не ограничивается традиционными функциями хранения и выборки информации. Вычислительные системы могут помочь медицинскому персоналу в выполнении многих повторяющихся и четко определенных видов анализа, используемых в клинической медицине. Эффективность ЭВМ в этой области обусловлена большой скоростью обработки информации, а также однородностью и точностью собираемых данных. Вычислительные системы могут уменьшить регистраторские функции, выполняемые врачами, средним медицинским персоналом и техническими специалистами здравоохранения. Они также могут способствовать повышению общего уровня охраны здоровья, что подтверждается ростом числа пациентов, которые обслуживаются такими системами. Остановимся на некоторых областях применения ЭВМ в медицине.

Автоматическая обработка ЭКГ. Одним из принципиально новых применений вычислительной техники в медицине в настоящее время является автоматизированная расшифровка электрокардиограмм. Впервые разработанная в 1887 г. электрокардиография начала в экспериментальном порядке использоваться в Европе в начале нашего века, а 10 лет спустя и в США. Однако широкое распространение она получила только в середине 20-х годов. Идея автоматизировать обработку ЭКГ возникла в середине 50-х годов, а первая функционирующая система была создана в начале 60-х годов. На конференции Американской кардиологической ассоциации в 1962 г. было продемонстрировано взаимодействие такой системы с врачами. Однако только в конце 60-х годов, когда такие системы начали создаваться в массовом порядке, появилась возможность использовать их для повседневной работы. Только сейчас мы можем рационально оценить качество этих систем и их экономическую эффективность. Если предположить, что будет осуществлен практически полный переход на автоматическую обработку ЭКГ, то необходимо обратить внимание на следующие факторы.

Качество анализа. До сих пор не получили четкого определения используемые медицинские критерии для оценки кардиограмм. При оценке 561 ЭКГ двумя группами высококвалифицированных специалистов по электрокардиографии расхождения при оценке по критерию соответствия составляли 9%, а по критерию отклонения от нормы — 31%. Эти данные показывают, что нестабильность оценок (ошибка человека) все еще является значительной и что для создания надежных аналитических моделей, которые могут быть с достаточной достоверностью введены в машину, необходимы дальнейшие исследования.

Доступность. Автоматизированная обработка ЭКГ должна осуществляться круглосуточно с выдачей результата не позже чем через 5 мин. после снятия ЭКГ. Такое быстрое действие может быть обеспечено только системами, работающими в реальном времени, что освободит врача от некоторых трудоемких операций и высвободит время для выполнения более важных функций. Конечно, существует целый ряд применений, в которых ЭВМ значительно уступает кардиологу. Примером такого рода является несколько академичная проблема детальной классификации аритмии. Современная ЭВМ может установить только наличие или отсутствие аритмии. Но она дает лечащему врачу достаточно информации для постановки более точного диагноза.

Стоимость. Экономические факторы не являются основными препятствиями для автоматизации. Суммарные затраты на машинную обработку одной ЭКГ составляют в настоящее время от 3 до 5 долл., а массовая обработка позволит еще более сократить такие затраты.

Что касается исследовательской работы, то сейчас проводится массовая электрокардиография нескольких больших групп населения. Эти данные дадут исследователям возможность классифицировать различные подгруппы населения по сигналам ЭКГ. Уже созданы первые программы для воспроизведения процентного распределения амплитуд и длительностей импульсов, обычно используемых при расшифровке ЭКГ.

Изучена применимость для медицинских целей различных статистических методов, многие из которых заимствованы из теории распознавания образов и криптологии. Основной задачей этой работы является описание естественного развития болезней, с тем чтобы симптомы каждой стадии болезни у данного человека можно было использовать для прогнозирования последующих стадий. Однако основная проблема применения ЭВМ в здравоохранении, как и во всей клинической медицине в целом, заключается в обеспечении более быстрой и эффективной медицинской помощи. Мы полагаем, что ЭВМ помогут в достижении этих благородных целей.

Автоматизация регистрации медицинских данных при многофазном обследовании. Соответствующие программы были созданы ввиду растущей потребности в проведении периодических медицинских осмотров с малыми затратами. В автоматизированной многофазной системе медицинских обследований для выполнения большого числа обследований и определения вероятности наличия болезней используется сложное электронное оборудование. При этом производится разделение обследуемых на группы с большой вероятностью таких болезней и группы с малой вероятностью. Первые и наиболее крупные автоматизированные многофазные лаборатории работают с 1964 г. в Сан-Франциско и Окленде (Калифорния). В настоящее время в США имеется свыше 150 таких лабораторий, в Европе — 20 лабораторий и несколько — в других районах мира.

При обычном профилактическом обследовании пациент сначала проходит ряд анализов и процедур, выполняемых младшим медицинским персоналом. Затем врач рассматривает результаты лабораторных анализов, проводит осмотр пациента, после чего ставит диагноз, назначает лечение и дальнейшие процедуры.

При обследовании в автоматизированной многофазной лаборатории пациенту сначала высылается печатная инструкция по подготовке к осмотру. Ему также предлагают заполнить анкету, и он получает стопку предварительно отперфорированных карт. Эти карты сопровождают его на всех стадиях осмотра, в ходе которых он менее чем за 3 часа проходит около 50 обследований и процедур. На последнем этапе осмотра пациент возвращает анкету и перфокарты. Во всех возможных случаях результаты обследований регистрируются непосредственно путем перфорации на картах или нанесения на них других кодовых отметок, что позволяет немедленно вводить карты в систему обработки данных. После прохождения пациентом последнего этапа осмотра терминал, установленный в многофазной лаборатории, считывает данные, зарегистрированные на перфокартах, и через систему связи передает их в ЭВМ. В программе ЭВМ заданы многочисленные предельные значения параметров анализов и тестов и правила решений, соотношенные с возрастом и полом пациента. Используя эту модель, ЭВМ направляет через систему связи рекомендации относительно дополнительных обследований, которые целесообразно провести перед следующим визитом пациента к врачу. Если выявляется

серьезное отклонение от нормы, то ЭВМ информирует об этом регистратора, который поручает сестре направить пациента к врачу в отделение экстренной помощи.

Использование ЭВМ, работающих в режиме с разделением времени, для целей многофазного медицинского обследования продемонстрировало, что разработка и применение соответствующих алгоритмов обеспечивают надежное определение вероятности наличия у больного той или иной болезни из большого набора болезней, охваченных программой обработки. Непрерывно накапливаемая документация о пациентах дает врачу актуальное и полное представление о состоянии больного. Обеспечивается хранение больших массивов данных о пациентах в течение длительного времени. Могут разрабатываться и использоваться конкретные нормативы, обеспечивающие индивидуальный подход к пациентам. Проверка достоверности работы системы в реальном времени уменьшает вероятность ошибок и влияние погрешностей приборов. Для обеспечения разработки рекомендаций и повторного тестирования могут использоваться программные процедуры решений и диагностические алгоритмы. Обмен информацией в реальном времени между лабораториями и централизованными банками медицинских данных увеличивает оперативность работы лабораторий.

Автоматизация послеоперационного ухода. Электронные устройства и системы позволили существенно улучшить уход за больными в течение первых решающих часов после операции на сердце. Больницы во все большем количестве производят такие операции. Однако рост числа квалифицированных дипломированных сестер, которые могут ухаживать за больными в тяжелом состоянии, отстает от имеющихся потребностей. Хирурги-кардиологи предложили систему мероприятий для обеспечения надлежащего уровня ухода за пациентом в условиях увеличивающейся нагрузки на персонал. Система предполагает, что для помощи врачам и сестрам используются автоматизированные устройства: это снимает необходимость увеличения больничного персонала, что благоприятно отражается на экономических показателях работы больниц. Автоматизированные устройства сейчас выполняют целый ряд хорошо отработанных повторяющихся повседневных процедур, благодаря чему высвобождается время квалифицированных сестер для непосредственного ухода за больными.

ЭВМ регулярно (например, каждые две минуты) автоматически воспринимает результаты измерений клинических параметров сразу нескольких пациентов, регистрирует и хранит текущие значения этих параметров и периодически табулирует эти данные на бумаге для включения в историю болезни пациента. ЭВМ при помощи соответствующих программ обрабатывает данные о содержании кислорода в артериальной крови и производит расчет и оценку кислотно-щелочного баланса. Выбор лечебных процедур и методов лечения производится с использованием программ, основанных на таблицах решений. Текущие значения физиологических и клинических параметров сопоставляются с набором правил, на основе которых выбираются соответствующие методы лечения. ЭВМ могут непосредственно управлять лечением путем регулирования подачи крови (если соответствующие физиологические показатели не выходят из нормы).

Пульты с клавиатурой и дисплеи дают врачам и сестрам возможность дистанционно вести двухсторонний (хотя и несколько ограниченный) обмен информацией с ЭВМ. Эти терминалы включают алфавитно-цифровые дисплеи и клавиатуры, что позволяет выполнять запрограммированные функции, выбирать различные режимы для управления системой и регистрировать клинические данные и параметры. Для передачи значений гемодинамического давления к преобразователям во время операции используются внутрисосудистые и внутрисердечные капсулы. Для снятия ЭКГ применяются электроды многократного пользования, наклеиваемые при помощи адгезивных дисков. На основе

данных об артериальном давлении предварительные усилители выдают значения систолического, диастолического и среднего давления и по ЭКГ определяют частоту ударов сердца. Система переливания крови, управляемая ЭВМ, состоит из насосов, устройств питания и управления и датчиков, контролирующих поступление крови и сигнализирующих о его прекращении. Если интервал между каплями крови становится слишком продолжительным, двигатель насоса автоматически отключается и схема прерывания подает на ЭВМ сигнал о том, что резервуар крови пуст.

Программные методы, основанные на использовании таблиц решений, оказались очень эффективными для программирования анализа сердечной деятельности пациента и выбора лечебных процедур для улучшения кровообращения. Контролируемыми переменными в этой автоматизированной системе являются частота пульса и среднее артериальное давление, а также отношение объема вливаемой крови к объему крови, отводимой через грудную клетку. Процедуры, которые могут применяться в этих случаях, включают переливание крови, использование стимулятора сердечной деятельности, введение дигоксина, ксилокаина или других препаратов. На основе базовых комбинаций из 23 критериев разработано 14 правил решений. На основе таблицы решений может выбираться одна или несколько лечебных процедур или не назначаться никакого терапевтического лечения.

Количественная оценка эффективности такого автоматизированного отделения интенсивной терапии сопряжена с рядом трудностей. Однако уже сейчас очевидно, что эта система позволяет существенно улучшить эффективность хирургической и терапевтической помощи в таких отделениях. Представляется, что для оказания того же объема помощи в неавтоматизированном отделении понадобится вдвое больше коек и, следовательно, вдвое большее количество среднего медицинского персонала. Ввиду того что автоматизированное отделение обеспечивает большую эффективность лечения, пациент находится в нем в среднем только 25 часов и после удаления внутрисердечных и внутриартериальных катетеров и трубок для отвода крови из грудной клетки переводится в обычную палату.

Использование автоматизированного оборудования позволяет улучшить уход за больными после операций на сердце и освободить медсестер и врачей от целого ряда стандартных повторяющихся функций, что дает им возможность уделять больше времени непосредственно уходу за больными. В настоящее время ведутся исследования по разработке методов использования такой системы для ухода за тяжелыми больными других категорий.

Проблема «машинного зрения»

Машинные терминалы и вычислительные машины должны получать сведения об окружающей среде, и наиболее эффективным средством для этого является визуальное восприятие. Реализация процедур такого восприятия открывает новые громадные возможности для применения ЭВМ. Анализ погоды на основе карт облаков и постановка диагнозов на основе рентгенограмм или анализов крови являются лишь двумя (из многих возможных) примерами задач по обработке больших массивов данных, в которых входная информация поступает в графической форме. Диалог между машиной и человеком будет облегчен, если Человек вместо символического описания сможет в непосредственной форме предоставить машине реальный объект. Конструкторы, например, могли бы таким путем легко обеспечить структурный машинный анализ своих масштабных моделей.

Особенно интересной областью для применения машинного «видения» может стать промышленная автоматизация. В настоящее время на промышленных предприятиях используются манипуляторы с программным управлением. Такие манипуляторы могут повторять точную последовательность действий определенного рода, но так как у них нет датчиков, то они не в состоянии оперативно реагировать на непредвиденные ситуации. При несколько больших затратах и добавлении простых датчиков и мини-ЭВМ эти манипуляторы могут быть превращены в настоящих роботов.

Обладая несколькими визуальными функциями, такие машины могут собирать узлы из деталей, обнаруживать дефекты и предупреждать аварии. Наличие у роботов визуальных функций уменьшит существующую в настоящее время необходимость строго устанавливать детали на каждом пункте технологической линии: вместо этого детали можно будет транспортировать в контейнерах, а робот будет по мере необходимости брать их и устанавливать для дальнейшей обработки (или сборки).

Изучение явления *восприятия* дает возможность получить более полное представление о механизме обработки информации машиной и человеком. Многие из проблем, с которыми мы столкнулись, являются для изучения умственной деятельности фундаментальными. Как представлять знания? Каким образом имеющиеся знания дают возможность делать выводы на основе данных восприятия? Каким образом существующие знания взаимодействуют с логическими выводами в процессе обучения? Методы, разработанные для автоматизированного восприятия чувственных данных, не могут быть полностью использованы при создании моделей биологических систем ввиду различий физических механизмов в автоматических системах и в живой природе и несовершенства наших знаний о последних. С другой стороны, хотя для построения автоматизированных систем используются и некоторые данные биологии, по тем же самым причинам копировать природу мы не можем.

В историческом плане исследования в области автоматизированных систем визуального восприятия возникли из изучения методов распознавания (классификации) двумерных образов. Однако применение математического аппарата классификации к задачам анализа реальных ситуаций возможно лишь в немногих случаях. Возьмем в качестве примера требование, предъявляемое к такому устройству, как робот: оно должно манипулировать предметами или двигаться по определенной траектории по отношению к ним (а не только их классифицировать). Однако для манипуляции необходим анализ ситуаций в трехмерном пространстве и понимание пространственных отношений между предметами. В таких задачах, как распознавание знаков, представлялось целесообразным запоминать изображения или их характерные особенности, а затем сопоставлять их с другими изображениями или элементами изображений. В реальных же ситуациях объекты входят один в другой, имеют части, которые взаимосвязаны, но движутся достаточно независимо; эти объекты могут рассматриваться в разных ракурсах и образовывать множество комбинаций. Кроме того, классы объектов часто определяются по своей функции, а не по форме (например, класс стульев или кофейных чашек). Непосредственные методы сравнения по конфигурации оказываются в этом случае неэффективными, за исключением случаев, когда обеспечивается очень жесткое задание параметров.

В электронных системах визуального восприятия в качестве автоматизированного функционального устройства обычно применяется телекамера с цветовыми фильтрами и турельный объектив (или объектив с переменным фокусным расстоянием) для представления объектов крупным планом. Телевизионное изображение записывается в память ЭВМ в виде последовательности значений величин яркости, причем для каждой

регистрации кванта цвета требуется от 4 до 8 бит. Автоматизированное визуальное восприятие может рассматриваться как процесс преобразования этого массива чисел в символическое описание.

В последнее время несколько исследовательских лабораторий начали применять методы исследования восприятия к решению практических технических задач. В Стенфордском университете демонстрировались простые автоматизированные операции сборки с использованием устройств, основанных на визуальном и тактильном восприятии. Лаборатории компании «Дженерал моторс» разработали систему для насадки колеса на ось. Японская компания «Хитати» продемонстрировала систему, которая может различать детали из листового металла на движущейся ленте конвейера и определять их ориентацию, что облегчает их последующую обработку. Ввиду двумерной конфигурации этих деталей в этом случае использовались методы сравнения по шаблону. Эти первые результаты показывают, что в недалеком будущем автоматизированные устройства визуального восприятия найдут широкое применение.

О применении ЭВМ в прогнозировании

Лаборатория динамических систем Массачусетского технологического института разработала математические модели глобальных систем, в которых ЭВМ прогнозируют развитие сложных социальных систем на период до 200 лет вперед. Машинное моделирование имеет своей отправной точкой исследования Ванневары Буш, который свыше 40 лет назад сконструировал дифференциальный анализатор для решения простых технических задач. Приблизительно в то же время Норберт Винер изучал системы с обратной связью и ввел термин «кибернетика». В 40-е годы Гордон С. Браун создал в Массачусетском технологическом институте лабораторию следящих систем, в которой была разработана теория систем с обратной связью. Джей У. Форрестер одним из первых использовал цифровые ЭВМ для моделирования таких систем. В своих книгах «Динамика промышленности», «Динамика городов» и «Мировая динамика» он применил теорию динамических систем для анализа деловых организаций, управления городского развития и эволюции человеческой цивилизации. Форрестер считает, что моделирование глобальных систем на ЭВМ позволяет оптимально использовать возможности преимущества человеческого разума и ЭВМ для описания социальных систем: человек формирует структуру прогноза, а ЭВМ прослеживает взаимодействия.

Группа исследователей во главе с Деннисом Л. Медоузом предсказала, что если не будут безотлагательно приняты меры для уменьшения темпов роста народонаселения и экономического развития, то приблизительно через 50 лет мир постигнет социальная и экономическая катастрофа.

В своей книге «Пределы роста» Медоуз утверждает, что на планете конечных размеров развитие не может продолжаться бесконечно, так как природные ресурсы Земли вскоре будут исчерпаны, а окружающая среда до такой степени загрязнена, что существование цивилизации станет невозможным.

Выводы Форрестера и Медоуза вызвали бурю протестов и возражений. Бернхам Бекулт, автор книги «Следующие 500 лет», отмечает, что использование машинных моделей для прогнозирования будущего приводит к результатам, полностью зависящим от исходных данных и допущений, вводимых в машину. Он указывает, что выводы Форрестера и Медоуза основываются на произвольных и пессимистических допущениях.

На каждую пессимистическую книгу о будущем приходится десятки книг оптимистической направленности. Некоторые футурологи предсказывают применение препаратов, которые увеличат умственные возможности человека, использование электрического раздражения мозга для создания постоянного чувства счастья и изобретение пилуль, которые продлят продолжительность жизни человека до 150 лет. Эти футурологи утверждают, что при помощи ЭВМ ученые раскроют тайну фотосинтеза и человек сможет химическими способами производить в изобилии пищевые продукты. Можно будет извлекать белок из старых шин, газет, компоста и водорослей, а на основе таких растительных веществ, как соя, синтезировать мясо. Человек сможет управлять погодой, например, вызывая сильные дожди в засушливых районах. Окажется возможным создать громадные ядерные установки по опреснению морской воды, производить в районах, -которые ранее были пустынями, достаточно продовольствия для миллионов людей. Футурологи предсказывают появление подводных и плавучих городов. Задолго до того как истощатся запасы угля и нефти, будет разработана технология практического использования управляемого термоядерного синтеза. Наша система транспорта будет работать на электроэнергии, производимой на внеземных крупных станциях и передаваемой в виде радиосигналов.

Применение электронных систем обработки данных в нашем обществе вызвало в нем глубокие структурно-организационные изменения. Системы, работающие в реальном времени, позволяют многим тысячам людей использовать ЭВМ, не отходя от рабочего стола и даже у себя дома.

И тем не менее это только начало. Потребуется еще не меньше 10 лет для того, чтобы можно было полностью оценить воздействие электронных систем на человеческое общество. Мы должны понять, что находимся сейчас в процессе перехода от «автоматизированного» общества к «кибернетическому». В ближайшие годы электронные системы и широкополосная связь будут использоваться почти во всех областях человеческой деятельности. Эти системы будут применяться так же, как сейчас в наших домах и учреждениях используются другие современные виды техники, и позволят всем (даже детям) беседовать с ЭВМ так, как мы сейчас говорим по телефону. Напрашивается вывод, что человек, если он хочет сохранить свой род, должен научиться разумно использовать современные, пока еще не очень разумные, электронно-вычислительные машины.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ФИЗИКЕ

А. А. САМАРСКИЙ, Ю. П. ПОПОВ

Настоящая революция произошла в математике в послевоенные годы с созданием электронных вычислительных машин (ЭВМ). Пожалуй, ни одно техническое достижение не изменило так лицо математики, как это новое мощное средство расчета. Фактически на глазах нашего поколения родилась новая ветвь математики — вычислительная. Вобравшая в себе накопленные веками классической математикой знания, вооруженная новейшими достижениями электронной техники, эта молодая наука за какие-нибудь 20 лет сделала поразительные успехи.

Как известно, успех не приходит вдруг. Он начинается с препятствия, с трудной проблемы, с большого важного дела. Нужно сказать, что в этом отношении

вычислительной математике, если так можно выразиться, «повезло». Больших дел и трудностей, пришедшихся на ее долю, было достаточно.

Уже само рождение и становление вычислительной математики связано с крупнейшей, небывалой по трудности научно-технической проблемой овладения ядерной энергией. Эта проблема объединила гигантский комплекс вопросов начиная от изучения физических процессов в ведрах атома до организации научных работ. При этом требования к уровню исследований резко возросли. Например, при расчетах атомного реактора нельзя было уже ограничиться качественной теорией явления — нужны были точные количественные характеристики. Было ясно, что прежний классический подход к решению подобных задач неприменим.

В чем заключается этот подход, который долгое время был традиционным оружием исследователей?

Задачи, которые выдвигает практика, как правило, весьма сложны, и их решение в общем виде с учетом всего многообразия факторов невозможно. Поэтому исследователь сознательно шел на упрощения, пытаясь из всей массы информации выбрать наиболее существенные моменты, главные действующие силы в изучаемом явлении и далее выразить это на языке математических формул и уравнений. Другими словами, первый этап исследования — замена реального объекта упрощенным, как говорится, построение математической модели. Требования к такой модели весьма жесткие. С одной стороны, эта модель должна быть достаточно простой в математическом отношении, для того чтобы ее можно было подробно исследовать имеющимися средствами, с другой — в результате всех упрощений она не должна утратить «рациональное зерно», существо проблемы. Постановка задачи — это своего рода искусство, где тесно переплетаются и знание теории, и опыт, и интуиция.

Удачная постановка задачи, удачный выбор математической модели — это часто половина успеха.

В этой связи можно привести один пример, достаточно наглядно иллюстрирующий мысль о значении постановки задачи. Речь идет о способах описания поведения газа, заключенного в некотором объеме. Газ — это собрание огромного количества частиц (молекул). Движение каждой частицы подчиняется достаточно простому уравнению. Однако для получения решения все эти уравнения нужно решать совместно — ведь частицы взаимодействуют друг с другом. Такая задача даже сейчас намного превышает имеющиеся возможности решения. И тем не менее задача о поведении газа успешно решается, например, методами статистической физики. Здесь изучается не поведение отдельных частиц, что в общем-то и не нужно на практике, а закономерности, которым подчиняются некоторые средние характеристики газа: давление, температура и т. д. Так, разумная постановка задачи, целенаправленный выбор модели явления позволяют обойти, казалось бы, непреодолимые трудности.

Итак, модель построена, уравнения сформулированы. Для их решения исследователь привлекает различные математические методы (уже известные или специально разработанные) с тем, чтобы, например, выразить решение в виде явных формул, которые легко проанализировать. Конечно, окончательную проверку теория, построенная с помощью математической модели, получает при сравнении с данными эксперимента, причем эксперимент не только подтверждает или опровергает теоретические выводы, но и обнаруживает новые факты, дает пищу для раздумий.

Таким путем были получены ответы на многие важные вопросы и в квантовой механике, и в гидродинамике, и в астрофизике и т. д. Хотя следует отметить, что теоретические результаты, полученные в рамках определенной математической модели, имеют ограниченную применимость и зачастую носят качественный характер.

По мере развития теории, углубления исследований, как правило, в модели обнаруживаются изъяны: полученные с ее помощью выводы начинают противоречить реально наблюдаемым фактам, возникают парадоксы. Математическую модель приходится уточнять, формулировать новые понятия, вводить новые «действующие лица». Так возникает целая система моделей с последовательно возрастающим уровнем сложности и точности, вкладывающихся одна в другую, как игрушечные матрешки. Чем выше ранг модели, чем сложнее ее математическое описание, тем труднее ее изучать, тем больших усилий стоит каждый результат.

Кроме этого, зачастую переосмысливается само понятие «решение задачи». Так, математик-теоретик считает конечным пунктом исследования доказательство существования и единственности решения задачи, оставляя в стороне его конкретный вид. Прикладнику, естественно, важен конструктивный способ построения решения. Когда-то считалось обязательным выразить ответ в виде явной формулы. В дальнейшем решение считалось фактически найденным, если задачу удавалось свести к системе обыкновенных дифференциальных уравнений, теория и методы решения которых достигли большого совершенства. *Сейчас мы подходим к этапу, когда решение можно считать построенным, если указан вычислительный алгоритм, практически реализуемый на современных электронно-вычислительных машинах.*

Понятно естественное стремление ученых использовать модели попроще, где уже прикидки «на пальцах» дают возможность получить ответ. Однако то «золотое время», когда успех мог быть достигнут с помощью сравнительно несложного математического аппарата, проходит. Сейчас таким путем можно «довести до конца» лишь очень немногие практически важные задачи. В лучшем случае на этом пути можно собрать лишь предварительную информацию. Трудности здесь связаны с двумя следующими факторами.

Во-первых, практика предъявляет новые требования к решению. На основе теоретических результатов теперь проектируются реальные конструкции. Поэтому решение должно содержать не только качественные характеристики явления, но и количественные данные. Как говорят, решение должно быть доведено до числа.

Во-вторых, возрастает сложность задачи. Исследуются комплексы процессов, сложным образом влияющих друг на друга. Предсказать заранее, какой из них и при каких условиях окажется существенным, какой второстепенным (тогда его можно исключить из рассмотрения), — трудно. Поэтому усложняется и математическая постановка задачи: соответствующие уравнения становятся, как говорят, нелинейными и не поддаются решению известными классическими методами.

При исследовании «линейных» процессов, т. е. явлений, описываемых линейными уравнениями, ответ можно получить, изучив набор простых, так называемых частных, решений. Из них, как из кубиков, складывается решение в общем случае.

Гораздо сложнее обстоит дело с нелинейными процессами. Так, одно из характерных их свойств — пороговость: нелинейная система может качественно изменить свое поведение, если внешнее воздействие превысит некоторую критическую величину.

Обращаясь к наглядной геометрической иллюстрации, можно сказать, что линейный процесс легко предсказуем, подобно тому, как любую часть прямой линии нетрудно восстановить, зная небольшой ее отрезок. Однако такой способ построения не годится для замысловатой извилистой («нелинейной») кривой, ход которой невозможно предугадать на основании поведения отдельных ее частей. В то же время именно нелинейные задачи все чаще возникают в самых разнообразных и актуальных отраслях науки и техники.

В таких условиях часто приходится ориентироваться на экспериментальные исследования, проводить уникальные опыты, сложные и дорогостоящие, требующие длительной подготовки, порой небезопасные. Но и из них извлечь нужную информацию очень непросто: приходится создавать тонкую измерительную аппаратуру, разрабатывать методику измерений, решать большое количество сопутствующих вопросов и т. д.

Так, например, обстоит дело с проблемой овладения ядерной энергией, которая упоминалась выше. Аналитические методы здесь бессильны, маломасштабные опыты — неэффективны, а экспериментирование в реальных масштабах по понятным причинам весьма дорого и опасно. Нужны были новые идеи, новые методы и средства научного исследования.

Таковыми средствами стали ЭВМ, а методом — вычислительная математика.

ЭВМ, обладая огромным быстродействием, стимулировали развитие новых математических методов, базирующихся на прямых расчетах. В свою очередь особенности решаемых задач, специфика расчетных приемов требовали дальнейшего усовершенствования вычислительных средств.

Так, «шагая рука об руку», электронная вычислительная техника и прикладная математика достигли резкого прогресса. Первые их робкие шаги вскоре сменились поступью гиганта.

В коллективах, которые заняты решением актуальных задач методами вычислительной математики, сложился свой собственный новый стиль работы. Он чем-то напоминает деятельность физиков-экспериментаторов. Их роднят уровень сложности исследуемого объекта, подготовка исходного материала, характер полученной информации, способы ее обработки, анализ и интерпретация результатов и многое другое. Только здесь вместо экспериментальной установки — ЭВМ, работающая по заданной программе. Недаром в среде специалистов по вычислительной математике бытуют термины: «математический эксперимент», «вычислительный (численный) эксперимент». В чем суть такого «теоретического эксперимента», каковы его основные черты?

Начинается исследование по-прежнему с постановки задачи. Строится математическая модель явления, «охватывающая» все существенные его стороны и в то же время достаточно простая. Простая, конечно, уже с «машинной» точки зрения, а отнюдь не для «ручного анализа». Далее разрабатывается схема решения поставленной задачи методами вычислительной математики. Выбранный способ решения должен быть представлен в виде последовательности арифметических и логических операций, которая переводится на язык машины и реализуется в виде так называемой программы для ЭВМ. Затем по этой программе осуществляются собственно расчеты. Это упрощенная схема численного эксперимента.

Попутно возникает большое количество вопросов. Пусть, например, решается аэродинамическая задача о входе аппарата в атмосферу Земли при возвращении из

космического полета. Необходимо рассчитать силовые нагрузки, действующие на аппарат, тепловой режим и т. д. Важную роль при решении этих вопросов будут играть свойства среды (ее теплоемкость, теплопроводность), ее уравнения состояния и т. п. Причем эти данные требуется знать в весьма широком диапазоне температур, потому что из-за большой скорости аппарата окружающий его воздух сильно разогревается.

Получить эти данные в эксперименте сложно, так как для этого в лаборатории нужно создать соответствующие условия по температуре, скоростям и т. д., а это фактически близко к воспроизведению самого изучаемого явления. Если же принять в расчетах грубые данные, то точность полученных результатов может оказаться недостаточной для получения необходимой информации. Приходится развивать побочные исследования (и теоретические, и расчетные, и экспериментальные) с тем, чтобы обеспечить основные расчеты (вычислительный эксперимент) необходимыми данными.

Для решения одного и того же класса задач часто можно предложить несколько численных методов. Как из них отобрать наилучший, самый быстрый, самый надежный? Для этого необходимо развивать теоретические исследования в соответствующих разделах вычислительной математики.

Немаловажен в численном эксперименте и вопрос обработки информации. ЭВМ выдает ответ в виде чисел. Этим чисел сотни и тысячи, и, чтобы получить ясное представление о решении, задать новый вариант расчета, нужно быстро ориентироваться в этом числовом море. Человеку трудно угнаться за машиной. Возникает диспропорция, возможности машины используются непроизводительно. Чтобы ликвидировать этот разрыв, нужны новые приемы, новые средства общения человека и машины...

Итак, вычислительный эксперимент объединяет большой комплекс самых разнородных вопросов, которые в каком-то виде встречались и в прежнюю («домашнюю») эпоху и решение которых было монополией одного исследователя-одиночки. Современный численный эксперимент один человек вести не в состоянии.

Здесь уместно обратиться к истории, попытаться провести некоторые аналогии. В свое время массовое внедрение новых совершенных орудий труда — различных насосов, мельниц, станков и т. д. — не только ускорило процесс производства, но и привело к его качественным изменениям. Кустарь-одиночка был вытеснен более прогрессивной формой производственной организации — мануфактурой. Появилось разделение труда и, как следствие, кооперация представителей отдельных специализаций в общем производственном процессе.

По-видимому, нечто подобное должно произойти и уже происходит в современном научном производстве. Широкое внедрение в научные исследования быстродействующих вычислительных машин (компьютеров) приводит к невиданному росту производительности труда ученых и к качественным изменениям в организации процесса научного исследования. Неизбежно появляется разделение научного труда, специализация по отдельным вопросам, начиная от чистой теории вычислительных методов до программирования и технического обслуживания ЭВМ. Численный эксперимент объединяет усилия отдельных высококвалифицированных специалистов в различных областях для решения сложной задачи.

Возможности численного эксперимента по сравнению с экспериментом натурным велики. Он дешевле, быстрее, доступнее, легко управляем. В него можно без труда вмешиваться, оценивать влияние тех или иных факторов. В численном эксперименте можно

смоделировать условия, которые еще невозможно создавать в лаборатории, и при этом численный эксперимент дает исчерпывающую информацию о процессах, протекающих в модели. У вычислительного эксперимента есть и еще одна сильная сторона. Он стимулирует постановку проблем, разработку методов исследования задач, о которых ранее не приходилось и думать. В качестве примера можно указать класс математических задач, в которых сравнительно небольшие отклонения, погрешности в исходных данных оказывают очень сильное влияние на результат. В математике подобные задачи называют некорректными и до сравнительно недавнего времени к возможности их решения относились скептически. В то же время эти задачи практически интересны и широко распространены, особенно там, где исходная информация связана с результатами измерений, ибо любое измерение в принципе осуществляется с некоторой погрешностью. Многие задачи автоматического регулирования, георазведки, астрофизики и т. п. с математической точки зрения относятся к классу «некорректно поставленных».

В последние годы в СССР трудами лауреатов Ленинской премии академика А. Н. Тихонова и членов-корреспондентов АН СССР В. К. Иванова и М. М. Лаврентьева были созданы специальные методы, позволяющие получать приближенное решение некорректных задач. Эти методы в силу их сложности могут быть реализованы только средствами вычислительной математики.

Совершенно незаменимым, по существу единственным методом научного исследования, становится математический эксперимент при изучении особо сложных объектов, таких, как живая клетка, где проведение натуральных опытов чрезвычайно затруднено или вообще невозможно.

Есть, конечно, у численного эксперимента и недостатки. И самый существенный в том, что он ограничен рамками принятой математической модели, которая лишь «грубый слепок» с действительности. Вот почему численный эксперимент никогда не вытеснит эксперимент физический. Будущее в их разумном сочетании.

Вычислительный эксперимент прочно входит в практику научных исследований. Его берут на вооружение физики и биологии, химики и геологи, радиотехники и авиаконструкторы.

Последние полтора десятилетия ознаменовались замечательными победами науки и техники в изучении и освоении космического пространства. Нашей стране принадлежат здесь крупнейшие достижения. Эти достижения были бы невозможны без широкого внедрения ЭВМ и методов вычислительной математики; в самые различные области космических исследований от расчета траекторий и обработки телеметрических измерений до вопросов организации и планирования работ. Не будет преувеличением сказать, что дорогу в космос помогает прокладывать и вычислительная математика.

Однако не только в космосе, но и на Земле в самых прозаичных сферах человеческой деятельности возникают задачи, для решения которых приходится привлекать вычислительную математику, численный эксперимент.

Большой эффект дают эти методы, в частности, в такой отрасли народного хозяйства, как добыча нефти: они позволяют рассчитывать оптимальные режимы эксплуатации нефтяных скважин. На основании данных о геологических разрезах, свойствах грунта и т. д. средствами вычислительной математики можно получить рекомендации: где бурить скважины, в каком количестве, при каких условиях и в течение какого времени их эксплуатировать. Такой прогноз незаменим при планировании разработок новых

месторождений, причем не только нефтяных, но, например, и газовых, подземных запасов пресной воды и пр.

По мировой статистике количество ЭВМ, занятых в физических исследованиях, в процентном отношении не столь уж велико: основная доля вычислительных машин приходится на экономику и управление. Однако машины, «участвующие» в вычислительных экспериментах в физике, являются самыми мощными и по быстродействию, и по объему оперативной памяти. Это не случайно. Именно в физике возникают сложные задачи, находящиеся на пределе возможностей электронной вычислительной техники.

В то же время именно в физике вычислительный эксперимент обеспечил наибольший прогресс, позволил получить много важных результатов. Объясняется это тем, что в физике задолго до появления ЭВМ был хорошо разработан метод математического моделирования, и эта отрасль науки оказалась наиболее подготовленной к принятию новых методов теоретического исследования. Характерно, что сейчас наряду с традиционным понятием «математическая физика» все чаще употребляется термин «вычислительная физика».

Сейчас становится особенно ясной важность теоретических исследований в вычислительной математике, необходимость дальнейшего совершенствования вычислительных методов.

Широкое распространение ЭВМ, их проникновение во все области научных исследований весьма остро ставят и проблему подготовки кадров.

Новому, «свежему» человеку возможности электронных вычислителей кажутся безграничными, они завораживают. Невольно появляется искушение: зачем вникать в высокие теории? Машина может все. Хуже ли, лучше ли метод — она все равно дает ответ, а немножко дольше или чуть быстрее — какая разница.

Такая точка зрения, конечно, несостоятельна. Как уже говорилось, именно в физических исследованиях применяются самые мощные, самые совершенные ЭВМ, но высокие требования должны предъявляться не только к «материальной части». Совершенными должны быть и вычислительные алгоритмы. Существуют примеры, когда удачный выбор метода, сделанный на основе предварительного теоретического рассмотрения, позволял сократить время расчета в десятки и сотни раз. Вместо часов — минуты и секунды, а это, учитывая необходимость отладки алгоритма для каждой задачи и многократность вариантов ее расчета (расчет одной и той же задачи приходится повторять десятки или даже сотни раз, варьируя различные параметры), означает, что для вычислительного эксперимента становятся доступными задачи, о решении которых раньше не приходилось и думать.

Как ни фантастично выглядят возможности ЭВМ, все же они в принципе не беспредельны.

Действительно, при работе ЭВМ необходимо передавать информацию от одних ее блоков к другим. Скорость же передачи сигнала, как известно, ограничена: она не может превышать скорость света. И как ни велика эта величина, все же именно она ставит предел быстродействию ЭВМ. Конечно, этот предел еще далеко не достигнут, но он существует, и это уже сейчас заставляет нас искать более совершенные и эффективные, более

быстрые, более экономичные методы расчета. Безусловно, и в дальнейшем роль теоретических исследований в вычислительной математике будет возрастать.

Вот почему при подготовке кадров, при обучении молодежи новым приемам работы, методике численного эксперимента следует прививать ей вкус к теоретическим исследованиям. Здесь в полной мере оправдывает себя известный афоризм: «Нет ничего практичнее хорошей теории».

МАШИННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

КОНРАД ФИАЛКОВСКИЙ

Энциклопедия по ЭВМ (Нью-Йорк, 1969) определяет моделирование как отображение фрагмента или совокупности поведения какой-либо системы в другой, отличной от нее. Так, ЭВМ можно запрограммировать, чтобы она действовала как другая ЭВМ или же как другая система, не имеющая ничего общего с машинной техникой, и получить информацию об этой системе. Моделирование применяется, когда непосредственный эксперимент оказывается невозможным (новая система еще не сконструирована), непрактичным (например, моделирование войн), неэкономичным (например, процесс требует больших количеств платины, но еще неизвестно, окупится ли он), неэтичным (связанным, скажем, со смертью человека) или же просто чересчур медленным (лесоводческие науки, экология).

Как мы видим, причин для применения численного моделирования в качестве исследовательского метода бывает много. Нужно еще добавить, что техника численного моделирования особенно удобна для таких проблем, где мы имеем дело со сложной системой и уже знаем в точности, как действуют ее различные элементы в различных сочетаниях, но хотим получить информацию о действии всей системы в целом. В тех же случаях, когда количество элементов системы очень велико, численное моделирование иногда бывает единственным путем для получения конструктивных решений.

Например, мы можем иметь достаточно подробную картину изменений электрической активности нейронов во времени. Однако отсюда нельзя непосредственно вывести картину активности сети, состоящей, скажем, из 1000 нейронов. Разумеется, эту структуру можно описать соответствующими зависимостями, но определить на основании этих зависимостей состояние данного нейрона в данный момент — дело неслыханно трудное, поскольку это состояние зависит от многих других факторов, те в свою очередь — от третьих и т. д. Когда проблема касается многих нейронов, многих моментов времени и различных стимулов в сети, то решение становится почти невыполнимым.

Машинная картина модели

При численном моделировании картина элементов и их соединений подается в память ЭВМ в виде соответствующей программы. В сущности, это модель структуры нейронной сети. Далее имитируется процесс вводом соответствующих начальных условий (например, картины стимулирования сети). Процесс начинается, и состояния отдельных элементов — записи, соответствующие отдельным элементам в памяти машины,—

изменяются во времени. Роль экспериментатора ограничивается наблюдением процесса, происходящего в машине.

Машина может, например, дать усредненную картину деятельности сети нейронов, что для модели будет аналогом энцефалограммы. Активность изменяется во времени, эксперимент идет самостоятельно, а наша роль ограничивается наблюдениями, повторением эксперимента при других начальных условиях (например, других стимулах) и т. д. Это и есть машинный эксперимент (описанная модель была осуществлена для исследования того, какие виды соединений дают ритм токов активности мозга, наиболее приближающийся к ритму альфа).

Термин «машинный эксперимент» не случаен, так как аналогия между ним и, например, биологическим экспериментом бросается в глаза. Кроме того, работая с машиной, можно (в пределах ее возможностей) изменять скорость течения времени в эксперименте, а также многократно повторять один и тот же опыт при различных начальных условиях, имея гарантию, что все остальные условия остались неизменными. Первой возможности у «традиционного» экспериментатора никогда не было, а вторая, даже постулированная, не раз оказывалась лишь его иллюзией.

Но зато исследователю, применяющему в своей работе ЭВМ, грозит опасность, неизвестная в традиции, эксперимента. В отличие от традиционного экспериментатора, использующего в своем опыте фрагменты объективно существующего мира, машинный экспериментатор является творцом своей модели от начала до конца. При условии, что машинный эксперимент будет касаться модели, отражающей структуры и процессы реального мира, самой крупной проблемой является сходство модели с оригиналом. Это особенно касается очень сложных моделей: тогда экспериментатора все время тревожит вопрос, не моделирует ли он лишь вымышленные структуры, в основных своих аспектах несходные с оригиналом и потому отражающие оригинал, в действительности не существующий. Решить эту проблему можно, только если поведение модели оказывается в достаточной степени сходным с известным нам поведением оригинала. Разумеется, такое решение всегда бывает результатом каких-то принятых критериев, но другого, лучшего способа проверки нет.

Оригинал и модель

Нельзя не сказать здесь о проблеме целесообразности использования численного моделирования. Оно бывает целесообразным, если вносит что-либо новое: подтверждает гипотезу, выясняет роль моделируемого фактора во всей системе, позволяет предвидеть будущее поведение системы и т. д. Заметим, кстати, что модели, которые ничего не дают и из которых ничего не следует, а вся заслуга их создателей состоит лишь в использовании в своей работе ЭВМ,— такие модели составляют, к сожалению, довольно значительный процент работ, особенно в раннем периоде развития этой области.

Вообще говоря, для того чтобы числовая модель физической системы была полезной, она должна быть достаточно сложной, так как поведение менее сложных систем можно обычно предвидеть другими способами, а тогда применение ЭВМ является лишь эффективным приемом. Однако сложная числовая модель иногда превышает технические возможности машины. Для некоторых моделей данная машина может быть попросту слишком медлительной, и тогда машинный эксперимент должен затянуться на несколько часов или даже дней. Другим ограничением может быть емкость памяти машины, хотя в случае современных числовых систем это не так существенно. Таким образом, для

числового моделирования обычно применяются большие и быстродействующие компьютерные системы.

Предметом моделирования, очевидно, могут быть различные процессы как технические, так и экономические, социологические или биологические, причем большинство работ в области числового моделирования относится к техническим и экономическим моделям. Зато нигде, кроме как в области биологического моделирования, не проявляется в такой мере аналогия между экспериментом традиционным и компьютерным.

Среди биологических проблем, моделируемых с помощью машин, особое место занимает процесс эволюции. Здесь машинный эксперимент позволяет в условиях ускоренного течения времени за короткий срок наблюдать большое количество поколений и таким образом получить значительный «экспериментальный материал», который в традиционных опытах может быть накоплен лишь за много лет. Разумеется, ценность «экспериментального материала», полученного в машинном эксперименте, с биологической точки зрения часто бывает не очень высокой и сводится к исследованию какого-либо отдельного аспекта проблемы, например эволюционной динамики двухгенной системы.

Модель процесса эволюции

На высоком уровне абстракции эволюцию сложных систем можно рассматривать как определенный специфический саморегулирующийся процесс. При таком подходе биологическая эволюция оказывается просто частным случаем применения этого процесса. Правда, это единственный известный нам естественный пример эволюции «больших систем», но можно придумать (и промоделировать на ЭВМ) и другие, например эволюцию автоматов, промоделированную в свое время Фогелем, Оуэнсом и Уолшем.

К этой категории моделей процессов эволюции относится и описываемая ниже модель, в которой объектами эволюции являются абстрактные числовые структуры, обладающие наиболее существенными с точки зрения эволюции чертами: способностью к росту, смерти и размножению. В этой модели важны не сами объекты эволюции, а влияние среды на стабильность (устойчивость) последовательных поколений этих структур.

С биологической точки зрения эволюция является «уникальным» процессом. В результате этого процесса появляются существа все более сложные и одновременно обладающие определенными чертами, хотя в начале процесса эти черты не были указаны. Они создаются путем отбора. Отбор совершает среда. Объект, находящийся в определенной среде и подвергающийся ее влиянию, может либо быть устраненным из дальнейшего процесса (т. е. умереть), если его характеристики не приспособлены к требованиям среды, либо остаться в процессе (выжить) и создать дальнейшие поколения объектов (размножиться), если его характеристики этим требованиям удовлетворяют. В случае появления объектов-потомков эти требования предъявляются к ним, в случае их выживания — к их потомкам и т. д.

Если даже в начале нашего процесса у нас будет группа объектов со всеми возможными сочетаниями характеристик, то уже при однократном выживании под селективным действием данной среды объекты с сочетаниями, не соответствующими требованиям среды, окажутся из процесса устраненными. Оставшиеся же в той же среде дадут потомство, которое, получив от своих предшественников нужные сочетания характеристик, без вреда для себя останется в среде, даст потомство, и цикл повторится.

Эта картина справедлива для постоянного набора характеристик и неизменной среды. Следовательно, в случае выживания объектов процесс носит циклический характер.

Итак, мы имеем следующие условия процесса:

— среду с ее избирательным влиянием,

— объект, возникающий из предшествующего объекта, наследующий набор его свойств, растущий под селекционным влиянием среды и в случае выживания дающий дальнейшие объекты.

Нужно при этом различать два понятия: объекта, растущего под влиянием среды (аналог фенотипа¹), и набора свойств, передаваемых объектам-потомкам (аналог генотипа²). Эти свойства вместе со средой определяют процесс роста объекта. Кроме того, произвольно постулировано, что размножение в описываемой модели состоит в разделении объекта на два дальнейших, из которых один всегда устраняется из эксперимента. Речь идет об обзоре поколений, а не о количестве экземпляров в каждом поколении. Следовательно, в каждом поколении наблюдается только один объект, а их последовательный ряд дает эволюционную последовательность.

Мутация и среда

Очевидно, что случай с постоянной средой и постоянным набором свойств неинтересен как весьма частный случай случайно изменяющейся среды и случайно меняющихся свойств (аналог мутации).

Случайное изменение набора свойств при стабильности среды и приспособленности объектов к среде обычно устраняет объект из процесса (аналог летальной мутации). Это устранение обычно происходит немедленно. Изменения в условиях среды (нарушения в среде) тоже могут привести к подобным же последствиям. Однако эволюционная последовательность продолжается еще несколько поколений после изменений среды, а ее перерыв (смерть какого-либо объекта в эволюционной последовательности) менее вероятен, чем в случае изменения свойств (мутации).

Оба эти утверждения — уже не постулаты. Они вытекают из машинных экспериментов. Наиболее интересны, разумеется, результаты одновременного влияния этих факторов на эволюционную последовательность. Однако прежде чем переходить к дальнейшим выводам, нужно сначала сказать несколько слов о принципах, принятых при моделировании среды.

В отличие от других моделей среда представляется в ней как случайная, но циклическая. Принято при этом, что цикл в среде, т. е. повторяющаяся закономерность (аналог сезонных или месячных изменений), гораздо короче длительности всего эксперимента, но может быть больше длительности жизни отдельного объекта. Этот принцип вытекает из того факта, что единственный известный нам процесс эволюции — биологический — происходил в среде, по природе своей циклической, а также из того допущения, что эта циклическость может иметь какую-то связь с процессом эволюции.

В эксперименте набор свойств (генотип) не означал одновременно и формы объекта (фенотипа). В зависимости от среды возможны были объекты различной формы, и такой их разнородности нужно было ожидать.

Истолкование и гипотеза

Результат эксперимента был, однако, другим. Несмотря на неполноту информации о форме объектов и о случайности среды, объекты, возникающие в различных поколениях, были одинаковыми. Результат был настолько невероятным, что в поисках ошибки пришлось повторить всю программу целиком. Но это была не ошибка, а непредвиденная закономерность, выявленная экспериментом. Дело в том, что эволюция, образно выражаясь, «открывала» цикличность среды, и этой цикличности ей было достаточно, чтобы стабилизироваться. Позже — в ходе дальнейших экспериментов — оказалось, что к длительному дальнейшему развитию способна только та эволюционная последовательность, которая, развиваясь, «открывает» цикличность своей среды. Все остальные должны рано или поздно погибнуть.

Однако результаты и выводы, которые можно сделать из наблюдавшихся в описанном машинном эксперименте закономерностей, идут гораздо дальше. Если экстраполяция их на биологические объекты вообще справедлива, то этими объектами могли бы быть простейшие живые системы, появившиеся на нашей планете, когда на ней возникла жизнь.

Рассуждая о появлении первых живых объектов, исследователи наталкивались на известную трудность в виде большого скачка в сложности системы: с одной стороны, неживая природа, с другой — живые объекты, которые должны расти, повторяя форму своих предшественников, и размножаться. Это минимум того, что называется жизнью. Но для этого нужно много информации, заключенной в наследуемом материале. При возникновении жизни эта информация должна была возникнуть спонтанно, в определенных условиях взаимодействия макромолекул неживой материи. Вероятность случайного появления такого большого информационного материала даже в случайном процессе, длящемся миллиарды лет, невелика.

Учитывая результаты машинного эксперимента, мы получим совершенно другую картину. Согласно эксперименту постоянная форма может получиться в результате наличия циклических изменений в среде, а потому наследственно передаваемая информация у первых живых систем могла быть значительно меньшего объема; т. е. вероятность спонтанного, случайного возникновения такого материала значительно увеличивается. Наследственный материал мог ограничиваться правилами роста и размножения, остальное было делом циклической среды. Таким путем — в связи с циклическостью среды — жизни возникнуть было легче.

Экспериментальный материал

Для численных структур, применяемых в машинном эксперименте, «обнаружение» циклическости среды было условием «выживания». Это ясно видно на рисунке, являющемся частью записи хода отдельного эксперимента. Наблюдение велось на протяжении 80 поколений, и здесь отчетливо видно, как изменялись характеристики формы объекта (фенотипа), его «долговечность» и другие свойства. Не входя в подробности эксперимента, можно заметить, что на 18-м поколении эволюционная последовательность стабилизировалась; объекты в каждом поколении остаются одинаковыми, а график долговечности становится периодическим (период составляет 10 поколений). Это продолжается до момента мутации, появляющейся в 29-м поколении. В результате мутации объекты (фенотипы) уменьшаются. Видно, что время от времени появляются объекты, сильно отличающиеся от среднего уровня, например в 33, 43 и 49-м

поколениях. Это обусловлено фактом, что в отдельных поколениях объекты не определяются однозначно передачей наследственного материала (генотипа).

Дальнейшие две мутации не имеют большого значения, и в 69-м поколении начинается новая стабильная эволюционная последовательность, длящаяся до последней мутации — летальной.

Весь эксперимент проводился в определенных условных единицах времени, называемых дут и обусловленных техникой машинного эксперимента. В этих единицах измерялась «долговечность» отдельных объектов; у среднего объекта она находится между 500 и 600 дутами. Весь записанный на графике эксперимент продолжается 40 000 дутов. Представленный отрывок выбран из записей наблюдений, охватывающих 50 000 поколений (около 250 000 000 дутов). Чтобы ориентироваться в этих условных величинах времени, можно принять, что 1 дут



Так выглядит запись результатов при моделировании эволюции с помощью ЭВМ. По горизонтальной оси отложены поколения (свыше 80), стрелками обозначены мутации MG6, MG7, MG8 и MG9; по вертикальной оси:

— характеристики формы объекта (характеристика фенотипа дается суммой точек $C_i, o(g)$ для каждого поколения),

— длительность «жизни» объекта $T(g)$ или срок между его возникновением и делением на двух потомков (средняя сплошная линия),

— величина $P(g)$, называемая коэффициентом распространения (верхняя сплошная линия).

Можно заметить, что в 18-м поколении эволюционная последовательность стабилизуется: объекты в каждом поколении одинаковы, а график долговечности становится периодическим (период = 10 поколениям). Это длится до мутации в 29-м поколении (стрелка MG6 под горизонтальной осью). В результате этой мутации объекты (фенотипы) уменьшаются — снижение значений $C_i, o(g)$. Иногда появляются объекты (фенотипы), совершенно отличные от среднего значения, например, в 33, 43 и 49-м поколениях. Это обусловлено неоднозначностью определения объектов (фенотипов), передаваемой наследственностью (генотипом) в отдельных поколениях. Величина мутаций MG7 и MG8 небольшая. В 69-м поколении начинается новая стабильная эволюционная последовательность, держащаяся до летальной (смертельной) мутации MG9.

соответствует 1 секунде. Тогда длительность одного поколения составит около 10 мин, а длительность проведенных экспериментов — свыше 1 года непрерывного наблюдения.

Большинство описанных экспериментов проводилось на машине ИБМ 360/50, а остальная часть — на машине RCA Спектра 70/45. В случае ИБМ эксперименты потребовали свыше 20 час работы главной установки. Принимая во внимание, что эта установка прodelывает

в секунду гораздо больше 100000 операций, можно получить некоторое представление о сложности модели.

Такая сложность обусловлена тем, что моделирование происходило на уровне случайного присоединения отдельных инкрементов (неделимых составляющих элементов) к объекту в процессе его роста, так что этот процесс моделировался на возможном низком уровне. За 1 дут к объекту присоединялось несколько инкрементов. Только этот уровень эксперимента позволяет статистически определить постоянную форму объекта (фенотипа), несмотря на отсутствие описания правил роста (генотипа).

Закономерности поведения

В своем «поведении» наблюдавшиеся эволюционные последовательности были; очень различными. Как закономерность следует отметить, что эволюционная последовательность, приспособленная к среде (циклическая), на нарушения среды или действия собственного наследуемого материала (генотипа), нарушающие эту приспособленность, отвечает в случае выживания поведением, которое можно назвать «нестабильным ходом». В случае «выживания» через некоторое время наступает равновесие (приспособленность), и это приспособившееся развитие можно назвать «стабильным». Способов, по которым эволюционная последовательность может приспособиться к среде (а значит, и «точек равновесия»), может быть много, и на один из них «выжившая» эволюционная последовательность может случайно натолкнуться.

Из опытов видно, что вероятность выживания у эволюционной последовательности в значительной степени зависит от очередности мутаций и нарушений среды. Она становится минимальной, если нарушение среды следует непосредственно за мутацией. Оказалось, кроме того, что в плохих условиях развития (ограничение количества инкрементов, присоединяемых к объекту в ходе его роста) однородность форм (фенотипов) в дальнейших поколениях получается гораздо большей, чем в случае хороших условий.

Еще раз подчеркнем, что эта модель является моделью эволюции как процесса и что ее *нельзя считать моделью какой-либо биологической эволюции*, поскольку она, эта модель, лишь «частный случай» такого процесса, обладающий специфическими свойствами, которые не могли быть учтены в эксперименте. В этой модели постулировано наличие циклических изменений в среде, и именно этот постулат отличает ее от других.

Если принять, что полученные результаты можно в какой-то мере экстраполировать на объективно существующий мир, то эксперименты ясно говорят о значении, циклических изменений. Если эти ритмы играют такую существенную роль, то они должны проявляться на всех этапах эволюционного развития, и от них не должно быть свободными никакие, даже самые сложные, объекты процесса эволюции. Но, чтобы выполнять свою роль в том смысле, как это получается в машинном эксперименте, ритмы должны быть чрезвычайно устойчивыми (со значительной стабильностью частоты). Это необходимое условие. Но действительно ли это так? Здесь уже кончается машинный эксперимент и начинается биология.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ НАПРАВЛЕНИЕ

В КИБЕРНЕТИКЕ

В. К. КАБУЛОВ

Кибернетика наука молодая, ей всего 30 лет. Из них почти половина прошла в спорах. Спорим мы и сейчас. Спорим о теоретических основах нашей науки и о путях выхода в практику, думаем о ее технической базе. Мы понимаем, что всякая наука будет развиваться только тогда, когда она нужна для прогресса человечества. Наука, нужная только ее авторам, не имеет будущего.

Усилиями многих ученых всего мира сейчас уже созданы фундаментальные основы кибернетической науки. Теории больших систем, теории алгоритмов, теория автоматов, математическое программирование, теория информации, распознавание образов — вот далеко не полный перечень дисциплин, которые составляют теоретическую основу кибернетики. Здесь велика заслуга блестящей плеяды советских ученых.

За это время на стыке кибернетики и других наук оформилось множество смежных дисциплин: экономическая, техническая, биологическая, медицинская, лингвистическая кибернетика. Число таких дисциплин с каждым днем увеличивается.

Главным стимулом развития кибернетической науки явилось создание современных электронных вычислительных машин (ЭВМ) — технической базы кибернетики. Мы сейчас в стране имеем такие мощные вычислительные средства, как серия БЭСМ, единая серия, серия управляющих ЭВМ. Машины оснащаются периферийными устройствами, современными средствами ввода и вывода информации.

Разработка фундаментальных и прикладных основ кибернетики, развитие ее технической базы позволили поставить проблему создания автоматизированных систем управления (АСУ). Сейчас АСУ с различными «приставками» стали предметом обсуждения на страницах газет, журналов и серьезных монографических исследований. АСУ предприятия и отрасли, АСУ технологическими процессами, автоматизированная система научных исследований (АСНИ), автоматизация проектно-конструкторских работ (АСПКР), ТАСУ и РАСУ (территориальные и республиканские системы) стали органической частью наших дел по совершенствованию планирования и управления экономикой страны.

Создание АСУ получает широкий размах. Когда-то решение отдельной задачи на ЭВМ считалось огромным достижением, и мы торопились рапортовать о внедрении АСУ. Сейчас разработчики АСУ и их потребители во всем мире накопили огромный опыт. На повестку дня встала разработка крупных интегрированных систем на уровне отрасли, республики и всей страны. Здесь прежние приемы, когда все начиналось с «расследования» информационных потоков и оканчивалось решением локальной задачи для одного предприятия без увязки с другими системами, оказались не пригодными. Мы начали понимать, что такой путь приведет к затяжке сроков внедрения АСУ и потребует привлечения большого количества сил и средств к их разработке.

Все это, а также внутренние нужды самой кибернетики выдвигают новые задачи, требуют новых идей. Можно говорить о новых свершениях, перед которыми стоит кибернетика.

Для изложения сути этих проблем, пожалуй, надо сделать краткий экскурс по основам и предмету науки кибернетики.

Кибернетика — это наука об управлении и связи в животном и машине. Так звучит определение Норберта Винера.

Словом, кибернетика — это наука об управлении. Причем управляются большие системы, имеющие сложную структуру и функционирующие во времени и в пространстве по присущим им законам. Эти законы изучаются различными науками в зависимости от специфики исследуемого объекта.

Всякая большая система является частью другой большой системы. Внутри системы и с внешней средой происходит обмен энергией, веществом, а сейчас принято говорить и об обмене информацией.

Поскольку структура и функции системы во времени меняются (система стареет или обновляется) и внешние связи не постоянны, возникает проблема управления. Для этого надо собирать информацию о процессах функционирования объекта и по обратной связи передавать ее в другую «управляющую систему» для выработки управляющих сигналов. Так возникает проблема сбора, передачи, хранения и переработки информации об истории и со-стоянии управляемого объекта. Причем информация понимается как объективное отображение свойств вещества и энергии.

Попробуем теперь пройти по описанной выше кибернетической цепочке. Вся цепочка начинается с вопросов восприятия человеком информации от внешнего мира.

Человек сейчас измеряет движение материи в чрезвычайно малом кванте пространства и времени. Мы оперирует электрическими величинами: вольтами, амперами и т. д., не видимыми глазом, опасными на «ощупь».

Собирать и перерабатывать информацию в конечном счете нужно человеку или человеческому обществу для решения практических задач, и поэтому на первый план выдвигается изучение законов восприятия и затем хранения информации, проблема повышения «усвояемости» человеком всевозрастающих потоков информации.

Кибернетика спасает человека от информационной перегрузки, но она может избавить его и от опасности информационной недогрузки. Только путем применения кибернетических методов и средств можно привести в строгое соответствие темпы поступления информации с темпами ее усвоения.

Вернемся теперь к основному звену кибернетической цепи: управляющей системе, которая сейчас на практике оформляется в виде «человек—ЭВМ». Основная задача такой системы — принять информацию, хранить, перерабатывать ее и выдать результаты в удобном для восприятия человеком виде. Причем в процессе переработки информации решаются задачи исследования и управления системами; это осуществляется на основе закона функционирования управляемых систем и цепей управления. Поэтому всякая управляющая система (устройство) должна иметь память (внутреннюю и внешнюю) для хранения информации, структуру, и для нее должна быть задана функция управления, т. е. алгоритм решения конкретных задач.

Без преувеличения можно сказать, что основное усилие современной кибернетики направлено на установление законов функционирования больших систем, определение

стратегии управления и построение управляющих систем (устройств управления). Попытка автоматизации всех этих процессов с применением современных ЭВМ естественным образом приводит к идее алгоритмизации.

Дело в том, что решение такой грандиозной проблемы нельзя реализовать с помощью одного фиксированного алгоритма. Здесь нужна система алгоритмов, вернее, множество алгоритмов, объединенных в целую алгоритмическую систему. Так появился алгоритмический подход к кибернетике, при котором достигается наибольшая автоматизация умственного труда человека и который называется алгоритмизацией.

Проблема автоматизации творческого труда по-настоящему была поставлена после появления электронно-вычислительных машин и перерастает сейчас в кибернетическую проблему создания человеко-машинных систем. Речь идет о выделении формализуемой части умственного труда человека, ее оформлении в виде логических и аналитических зависимостей и составлении алгоритмов анализа этих зависимостей с последующей реализацией на ЭВМ.

Очевидно, нельзя мыслящего человека заменить «мыслящей» машиной, ибо современные электронные вычислительные машины создаются человеком. Но границы формализуемой части творческой деятельности человека весьма обширны, и поэтому задачу автоматизации умственного труда нельзя решать с помощью локальных алгоритмов. Здесь нужна целая алгоритмическая система.

Таким образом, в пределах алгоритмизации намечаются пути формализации творческого труда человека, разрабатываются автоматизированные системы решения формализованных творческих проблем на ЭВМ.

Процесс исследования различных объектов и построения алгоритмов управления можно разбить на семь последовательных этапов, показанных на рис. 1. Из рисунка видно, что здесь намечается кибернетическая цепь с обратной связью.



Рис. 1

При алгоритмизации опыт понимается в широком философском смысле. Сюда входит накопленный веками опыт человека, зафиксированный в монографиях, статьях и других источниках, а также лабораторные и натурные эксперименты. Таким образом, на этапе «опыт» предполагается создание информационно-поисковых систем (информационных банков) и широкая автоматизация экспериментов с разработкой и внедрением средств сбора, передачи и обработки экспериментальных данных.

Человеческий опыт позволяет сформулировать законы функционирования различных систем в природе и человеческом обществе, изучаемые многими отраслями науки: в обществе — это законы диалектического и исторического материализма, в природе — законы эволюции, в механике — законы сплошных сред, законы сохранения и т. д.

При алгоритмизации известные законы зашифровываются и вводятся в память ЭВМ. Новые законы формулируются по результатам автоматизированного эксперимента. Так образуется банк законов алгоритмического метода.

В научной и инженерной практике повседневно решается множество конкретных, локальных задач. Они возникают из потребностей практики и проблем самой науки. Классификация признаков задачи, автоматическое распознавание этих классов выполняются на этапе «задачи»; завершается построением банка признаков задач. Если на основе опыта определены основные параметры задачи, т. е. задача поставлена, то по данным банка признаков и банка основных законов функционирования автоматически на ЭВМ можно вывести математические зависимости (логические и аналитические), описывающие поставленную задачу. Такие зависимости, оформляемые в виде алгебраических, дифференциальных, интегральных и других типов уравнений, являются математическими моделями исследуемого процесса (задачи). Автоматизация вывода математических моделей выполняется на этапе «математические модели»!

В вычислительной математике для приближенного решения классов уравнений разработано множество алгоритмов. Для решения задач на ЭВМ необходимо предварительно установить применимость алгоритмов к решению уравнений. Применимость связана с доказательством сходимости и устойчивости алгоритма. Так, какой-нибудь одной модели ставится в соответствие подмножество алгоритмов. Для выбора единственного алгоритма надо ставить условия оптимальности алгоритма и проверить эти условия. Описанный здесь круг проблем решается на этапе «алгоритмы».

После выбора алгоритма необходимо сделать переход к приближенной системе и решить ее численно. Эта задача решается с помощью логических и арифметических операций и представляет собой этап «математическое обеспечение». Кроме того, на этом этапе выбирается язык программирования и составляются все необходимые программы.

Наконец, седьмой этап — «счет» понимается в человеко-машинном смысле и предполагает создание вычислительных комплексов, установку дисплеев и выносных пультов, а также увязку счета с опытом.

Таковы вкратце этапы алгоритмизации.

Значение алгоритмического подхода в кибернетике трудно переоценить. Прежде всего он нужен самой кибернетике для разработки методов автоматизированного анализа и синтеза абстрактных управляющих систем. По определению члена-корреспондента АН СССР С. В. Яблонского в абстрактных управляющих системах со временем меняются структура, память и функции управления. Для исследования таких сложных систем необходимо привлекать весь арсенал методов теоретической кибернетики. Поэтому применение алгоритмических методов в таких системах будет способствовать развитию самой кибернетики и ее прикладных направлений.

Алгоритмические методы позволяют ускорить изучение структуры и функции таких реальных управляющих систем, как электронные вычислительные машины, нервные ткани, молекулы с различными свойствами и т. д. Здесь наиболее оптимально решаются проблемы восприятия и организации информации человеком, о которых говорилось выше.

Но самый главный выход от алгоритмизации мы ожидаем в направлении автоматизации проектирования АСУ различных типов. Если бы удалось рационально построить банки данных объектов (вспомните этап «опыт»), банк законов, банк признаков и банк пакетов

программ, решить самую трудную проблему, связанную с автоматизированным выбором оптимальных алгоритмов для счета, то можно было бы поставить на индустриальную основу процесс создания автоматизированных систем управления.

Сейчас различными аспектами алгоритмизации занимаются многие исследователи. Пытаются применить эти методы к проектированию АСУ предприятия, решению проблем математической технологии, построению пакетов программ математической физики (работы академика Н. Н. Яненко).

Алгоритмизация в кибернетике стала основным направлением исследований Института кибернетики с Вычислительным центром Академии наук Узбекской ССР. Мы этим делом занимаемся с 1960 г. Первоначально перед нами была поставлена задача построения алгоритмической системы для теории упругости и пластичности. Сейчас завершаются работы в области механики сплошных сред. Полагаем, что окончательное решение проблемы



Рис. 2

будет способствовать автоматизации научных исследований в механике сплошных сред.

Известно, что многие задачи управления технологическими процессами приводятся к решению задач механики. Таковы, например, процессы химической технологии, обработки металлов и др. Поэтому в нашем институте намечаются пути перехода от алгоритмизации в механике сплошных сред к автоматизации проектирования АСУ технологическими процессами.

При этом этапы алгоритмизации конкретизируются, и создается стройная схема проектирования (рис. 2).

Банк данных, который строится на этапе «опыт», включает параметры деталей, операций и агрегатов. Это то, что сейчас называют нормативной базой.

Банк законов включает все законы механики сплошных сред. Но на практике возникают ситуации, когда процесс нельзя описывать лишь теоретическими соотношениями. Тогда делаются эксперименты и строятся эмпирические зависимости. Поэтому в банк законов включаются и эти зависимости.

В процессе математического обеспечения разрабатываются программы для аналитических и логических преобразований при переходе от основных законов к математическим моделям задач, а также пакеты прикладных программ.

В данном конкретном случае намечается следующая схема процессов проектирования. Проектировщик АСУ формулирует задачу в содержательном плане (семантически) или в символах (синтаксический подход). Параметры задач вводятся в память ЭВМ и начинается поиск в банке признаков, затем делается переход к банку законов и на основании признаков задачи происходит конструирование математической модели задачи

(пока в символах). В блоке алгоритмов автоматически намечается способ решения и выводятся приближенные уравнения метода. Только после этого проставляются конкретные числа (обращенные в банк данных) и производится счет.

Опыт показывает, что при переходе к автоматизации проектирования АСУ на первый план выдвигается построение банка данных и банка признаков, дополнение банка законов и выбор набора рационального пакета прикладных программ.

Мы говорили о технологических процессах. Сейчас делается попытка построения банка законов и признаков для экономических систем. Одним словом, алгоритмизация наряду с созданием технических средств сбора, передачи и переработки информации является одним из самых перспективных направлений в современной кибернетике.

НОВОЕ В ЛОГИКЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ЭВМ

ФРАНЦ ЛЕЗЕР

Быстрое развитие ЭВМ и возникновение новых логик, исследующих закономерности творческого мышления, позволяют поставить научно обоснованный вопрос: настало ли время для создания машин, которые могли бы выполнять не только обычную физическую и простейшую умственную работу, но и творческую? Возможно ли создание ЭВМ, способных развить идеи, о которых человек еще долгое время не мог бы и думать, или помочь разработать правовые и моральные нормы, которыми руководствовался бы сам человек?

Очевидно, что создание творчески деятельных самопрограммирующихся ЭВМ вызвало бы такие далеко идущие преобразования в жизни человечества, размеры которых наука сегодня определить не может.

Но реальна ли подобная перспектива? Многие ученые в этом сомневаются. Их сомнения в научном отношении основываются прежде всего на следующем положении: ЭВМ могут обрабатывать только заданные программы или алгоритмы. Основой творческого мышления является решение проблем, т. е. постановка вопросов и ответы на них, когда алгоритм поиска ответа неизвестен. В связи с этим отсутствует возможность разработки программы для ЭВМ, посредством которой она сможет творчески решать проблему. Только человек пока в состоянии принимать решения по той или иной проблеме.

Несмотря на то что подобные аргументы кажутся неоспоримыми, существуют предпосылки того, что ЭВМ смогут выполнять определенную творческую работу в будущем. Зададим себе вопрос: как человек решает проблему? Находит ли неизвестный алгоритм решения проблемы, т. е. правила или методы, с помощью которых он может ответить на поставленные вопросы без всяких предпосылок (условий) или, точнее сказать, без определенной программы решения проблемы? Нет, и человек не может решить ни одной проблемы без определенной программы. Однако в настоящее время эта программа решения проблемы используется человеком в значительной степени спонтанно, поскольку ему почти совершенно незнакомы законы решения проблем, в особенности логические. О некоторых современных направлениях развития логики, открывающих новые возможности использования ЭВМ, и пойдет речь в этой статье.

Проблемная логика и моделирование мышления

Возможность создания «проблеморешающей» ЭВМ зависит от того, будет ли процесс логического решения проблемы, осуществляемой более или менее спонтанно человеком, выражен в форме программы, на основе которой ЭВМ сможет реализовать поставленные перед ней задачи. Точнее, должна быть создана программа решения проблемы, которая позволит ЭВМ найти алгоритм решения, необходимый для ответов на поставленные вопросы.

До сих пор считалось, что создание подобных ЭВМ якобы невозможно прежде всего по техническим причинам. Однако оказалось, что этому мешает не состояние вычислительной техники, а ограниченность логики. С возникновением «проблемной» логики, т. е. логики, занимающейся изучением логических законов проблем, впервые были созданы теоретические основы для формулирования программы решения проблемы.

При многообразии проблем должен возникнуть вопрос: возможно ли вообще разработать одну-единственную программу решения, посредством которой могут быть найдены многочисленные алгоритмы, необходимые для решения всевозможных проблем? Проблемная логика показывает, что всем проблемам в рамках некоторого множества присуща единая логическая структура. Так, любая проблема делится на три части: предпосылка проблемы, постановка проблемы и решение проблемы. Каждая из этих частей в свою очередь имеет логическую структуру, общую для всех проблем.

Предпосылка проблемы, представляющая собой систему высказываний и норм, отражает проблемную ситуацию. Проблемная ситуация содержит определенное количество признаков объекта познания (например, причины болезни), признаков, которые необходимо найти, причем для их поиска нет алгоритма. Постановка проблемы состоит из системы вопросов, которые помогают найти искомые признаки объектов познания, тогда как решение проблемы является системой высказываний, посредством которых отыскиваются искомые признаки.

Эти логические структуры можно выразить формально-логическим или математическим языком. Логический переход от предпосылки проблемы к постановке, а затем и к решению проблемы, т. е. непосредственный логический процесс мышления при постановке и решении проблемы, осуществляется на основе общих логических законов, которые записываются формально-логическим языком.

Эти общие логические структуры и законы образуют общую программу решения проблем, которая применима для решения всех проблем. Но с помощью одной только общей программы нельзя решить ни одной проблемы.

Каждая проблема наряду с общими структурами и законами имеет свою собственную специфику. Общая программа всегда действует в специфических условиях проблемы, т. е. при решении проблемы в силу вступают специфические логические законы. Эта специфика, которую необходимо иметь в виду при решении каждой проблемы, основывается на особенностях структуры проблемы и обуславливает прежде всего специфические формы анализа и синтеза, метода заключения, постановки вопроса и других логических методов, которые должны быть использованы в определенный момент. В связи с этим проблемы классифицируются на основе их логической структуры. Для каждого класса проблем формулируется специфическая программа их решения; общая и специфическая программа вместе образуют программу решения, посредством которой для каждой разрешимой проблемы может быть найден алгоритм решения.

Такая программа решения проблемы, в настоящее время еще недостаточно разработанная из-за эмбрионального состояния проблемной логики, создает возможность для моделирования основных логических фаз процесса решения проблемы. ЭВМ может производить логические операции постановки и решения проблемы несравнимо быстрее, шире, а с помощью научной программы — точнее и эффективнее, чем человек, использующий традиционные методы. Поэтому так осязаемо близко то время, когда будут использоваться возможности ЭВМ решать неразрешимые для человека проблемы.

Означает ли это, что ЭВМ может мыслить так же творчески, как и человек, или даже лучше его?

Нет, ЭВМ может моделировать только определенные стороны или некоторые фазы логического процесса. В связи с этим нельзя говорить о творческом мышлении в буквальном смысле. Речь идет о разработке ЭВМ, которые в качестве вспомогательного средства могли бы моделировать определенные стороны мыслительного процесса.

Интеррогативная логика

Еще в античной греческой философии подчеркивалось значение вопроса для творческого мышления. Так называемый сократовский метод, или «повивальное искусство», как его назвал Сократ, подразумевает развитие творческого мышления посредством постановки вопросов.

Известный буржуазный футуролог Р. Юнг пишет: «Я полагаю, что на долю человека остаются только два свойства, наличие которых у машин немислимо. Во-первых, это способность к постановке вопросов — ни одна машина не ставит вопросов, и, во-вторых, наличие фантазии, выдумки и способности к проектированию новых вещей».

Но в связи с формированием интеррогативной (вопросительной) логики это утверждение должно быть заново продумано. Интеррогативная логика показывает, что формирование вопроса происходит на основе логических законов, а логические отношения вопроса и ответа поддаются формализации. Правда, эти законы доныне не были известны человеку.

Интеррогативная логика начинает исследование логических законов вопроса и ответа с определения понятий «вопрос» и «ответ». Вопрос — это мысль, которая ищет признаки объекта познания. Ответ — это мысль, которая находит эти искомые признаки. Процесс вопроса—ответа претерпевает три основные логические фазы: предпосылка вопроса, вопрос и ответ. Все три фазы имеют общую логическую структуру.

Переход логической структуры предпосылки вопроса в структуру вопроса и ответа может быть представлен в виде алгоритма и обработан ЭВМ, т. е. машина может самостоятельно формулировать вопрос и выдавать ответ на основе накопленной информации. Поскольку человеческое сознание может формулировать практически неограниченное число вопросов, на первый взгляд кажется невозможным достичь, тем более превзойти, производительность человеческого мышления с помощью машины. Однако исследование логических методов мышления при постановке вопроса показывает, что поиск фактически неограниченного числа объектов познания комбинируется с поиском ограниченного числа основных признаков для каждого из них. В языковом отношении эти признаки выражаются вопросительными местоимениями: «где» — соответствует месту, «когда» — времени, «кто» — лицу и т. д.

Накопление такого относительно ограниченного числа признаков и соответствующих вопросительных местоимений позволяет ЭВМ к любому заданному объекту познания поставить любой возможный вопрос. С этой точки зрения машина может более всесторонне, систематичнее и быстрее, чем человек, исчерпать возможности вопроса.

При автоматизации процесса вопроса и его использовании в решении сложных проблем и задач речь идет, однако, не о более быстрой и всесторонней постановке вопроса, а о том, как поставить вопрос, чтобы задачу или проблему можно было решить по возможности быстро и полно при минимальных издержках. В связи с этим интеррогативная логика занимается оптимизацией вопросных и ответных комплексов. Для этой цели вопросы и ответы различают по их интеррогативной интенсивности, т. е. вопросы — в отношении их поисковой силы, ответы — в отношении их определительной силы. Затем с помощью математических методов ЭВМ может выбрать стратегии вопроса — ответа, которые помогают получить оптимальные результаты — точные или вероятностные.

Стратегии вопроса — ответа образуют программы, благодаря которым ЭВМ наиболее эффективно может ставить вопросы и отвечать на них. Именно исключительная сложность и большое количество вычислительных операций, которые необходимы для формирования оптимальной стратегии вопроса, позволяют автомату далеко превзойти способности человека в этом отношении. Другими словами, в недалеком будущем появится возможность так программировать автоматы, что они на основе научно разработанной стратегии смогут с феноменальной скоростью ставить новые и решающие вопросы и давать на них наиболее эффективные ответы.

Логика идей и логика дискуссий

Если посмотреть внимательно, как возникают новые идеи, то можно прийти к выводу, что этот процесс обусловлен случаем и в основном лишен научной методики. Главная причина подобного положения заключается в том, что до сих пор не были исследованы логические законы нахождения идей. Другая причина состоит в следующем: творческое мышление осуществляется в совершенно определенных коммуникативных формах — от личного разговора с глазу на глаз, обсуждений и дискуссий в узких кругах до широкого обнародования. Различие этих коммуникативных форм объясняется спецификой их функций при решении определенных проблем. Одни проблемы целесообразнее решать в разговоре с глазу на глаз, другие, напротив, путем массового обсуждения. Зависимость между характером проблемы, способом ее решения и оптимальной коммуникативной формой еще далеко не известна современной науке.

Для того чтобы спонтанность нахождения идеи поднять до научного уровня, необходимо изучать законы коммуникативных форм творческого мышления, а также логический процесс нахождения идеи. Этой проблематикой занимается логика идей. Она прежде всего ставит вопрос: что такое идея? В общих чертах идея — это ответ на вопрос. Но не каждый ответ является идеей. Идея — это возможное решение проблемы. Исходя из положений проблемной логики логика идей развивает метод идейной цепочки, посредством которой целенаправленное производство идей будет происходить в форме цепной реакции. Идейная цепочка имеет множество звеньев. Каждое звено состоит из трех фаз: идейной ситуации, целевой установки идеи и нахождения идеи. Нахождение идеи первого звена идейной цепочки образует предпосылки для идейной ситуации второго звена и т. д. Дальнейшее совершенствование подобного логического метода будет способствовать тому, что производство идей превратится в научно управляемый процесс.

Коллективное мышление повышает творческий уровень одиночек. Из этого совершенно правильного вывода не следует, однако, что уже сегодня каждый коллектив может оптимально развить творческое мышление одиночки.

Наряду с тем фактом, что почти не учитывались и недостаточно исследовались психологические, моральные и другие законы коллективного мыслительного процесса, мы не знаем логических законов ведения обсуждений, дискуссий и т.д. В общем, мы вполне осознанно готовимся к заседаниям, дискутируем и пытаемся без знания логических законов решать проблемы или развивать идеи.

Формирующаяся в настоящее время логика дискуссий занимается изучением логических законов дискуссионного процесса. Эти законы позволяют поставить на научную основу коллективный мыслительный процесс и максимально продуктивно использовать при этом в качестве вспомогательного средства ЭВМ, которая будет перерабатывать накопленную в процессе дискуссий информацию и формулировать вопросы для дальнейшего обсуждения.

Этометрия и модель совести

В своем поведении человек руководствуется в значительной степени совестью, этим присущим только ему интереснейшим механизмом. И, конечно, никогда не будет создана ЭВМ, у которой была бы совесть. А впрочем, нельзя ли с помощью ЭВМ моделировать хотя бы некоторые — самые элементарные стороны, вернее, проявления, человеческой совести? В принципе можно.

Почему эта проблема не могла быть решена до сих пор? Адекватное математическое моделирование любых аспектов совести предполагает научное объяснение морали, которое стало возможным благодаря развитию марксистско-ленинской этики. Можно ли при изучении некоторых психических процессов и актов поведения человека, в которых участвует и совесть, использовать математику?

Математизация общественных наук, как это уже, например, делается в экономике, явится началом этапа, имеющего большое значение для прогресса науки. Перспективы, открывающиеся благодаря математике для таких дисциплин, как этика, юриспруденция или эстетика, наметились в связи с формированием этометрии — измерительной теории этики. Она занимается математическим моделированием моральных структур, включая такие структуры, как совесть.

Моделирование совести основывается на том, что она обладает функцией регулятора, который настраивает уровень поведения индивидуума (реальная величина) на уровень поведения, требуемого обществом (заданная величина). Говоря языком кибернетики, совесть сопоставляет значения заданной и реальной величин. До тех пор пока существует определенное равновесие этих величин, совесть выполняет «пассивную» функцию. В обиходе это состояние называют «спокойной совестью». Однако как только это равновесие нарушается, т. е. изменяется значение разности между заданной и реальной величинами, мобилизуется «активная» функция совести: появляются «угрызения совести», которые затем (по достижении равновесия) исчезают.

Разумеется, это достаточно упрощенная схема. Феномен совести исчерпать с помощью одной лишь кибернетики невозможно: математические и формально-логические схемы не могут заменить содержательный психологический, социологический и гносеологический анализ. Но в определенных пределах они полезны.

При моделировании совести необходимо иметь в виду, что некоторые люди обладают чувством повышенной совестливости, в то время как у других она практически отсутствует. В переводе на язык этOMETRY это означает, что совесть может реагировать на разность между заданной и реальной величинами по-разному. Люди с чувствительной совестью реагируют на весьма незначительные изменения разности, в то время как для людей со слабо развитой совестью эта разность может быть относительно большой. Поэтому величина разности — основа дифференцированного моделирования различных видов совести, или совести с различными оценками качества. Оценка качества совести равна наименьшему значению разности, на которое начинает реагировать совесть.

Наука не ставит задачу создания автоматов, которые моделируют человеческое сознание во всем объеме и заменяют людей. Речь идет только о том, чтобы воспроизвести на автомате определенные стороны человеческой деятельности и использовать его как вспомогательное средство.

Самопрограммирующийся автомат может моделировать только определенные логические или кибернетические аспекты совести. Он не чувствует угрызений совести и не страдает от бессонных ночей, когда значение разности велико. Но человек с его помощью может ставить эксперименты, создавать аналитические и прогностические модели поведения, которые далеко превосходят возможности традиционных методов. Автомат поможет человеку углубить понимание законов человеческого поведения, повысить квалифицированность своих решений и активно использовать полученные результаты на практике.

МОРАЛЬНО-ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И КИБЕРНЕТИКА

В. Д. ПЕКЕЛИС

Сегодня трудно найти область человеческой деятельности, куда бы не проникла кибернетика. Но некоторые области ее проникновения весьма неожиданны. Неожиданное в том, что кибернетика пытается своими методами познать человеческие отношения и в их реальности, и в абстракции, как между отдельными людьми, так и между общественными группами. Факторы морально-этические, которые не записывались ни числом, ни цифрой, в виде кодовых знаков попали в электронно-вычислительные машины. А надо ли решать такие проблемы с помощью кибернетики? Надо. Современный уровень точности анализа в общественных науках и связанная с этой точностью возможность предсказывать развитие социальных явлений далеко не удовлетворительны. Здесь сказывается и сложность явлений жизни, трудность учета субъективного в общественном и многообразии случайностей, и, конечно, недостаточное развитие новейших методов научного исследования.

Прошлое перед судом машин?

Сто тридцать лет были безуспешными попытки прочитать рукописи майя. Советский ученый Кнорозов тщательно изучил тексты и высказал гипотезу: загадочная письменность — иероглифическая. Но как прочитать ее? За дело взялись кибернетики. Соединив умение человека и быстроту машины, они создали комбинированный способ расшифровки. По программам для подбора и поиска нужных слов машина проделала миллиарды вычислений. Это позволило прочитать канонические тексты мадридской и дрезденской

рукописей майя. Мы узнали их астрономические и астрологические таблицы, описание брачных обрядов, ремесел, мифы о всемирном потопе и богах, которым поклонялись майя. С помощью машины менее чем за год прочитали половину всех найденных текстов, в то время как раньше сотни ученых за 10 лет расшифровывали только один знак...

На весь мир славятся ювелирные изделия жителей аула Кубачи в Дагестане. Мастерство не раз спасало их от порабощения. Бесценными украшениями, утварью, оружием откупались кубачинцы от завоевателей. Легенда связывает происхождение этого центра искусства с далекой Францией, переселенцами из которой, по преданию, был основан аул. Действительно, некоторые элементы местного языка напоминают французский. Ученые решили проверить достоверность легенды. Разработали специальную математическую модель и с помощью электронной вычислительной машины установили, что легенда не соответствует действительности. Математический анализ показал: искусство кубачинцев родилось в горах Дагестана примерно в III в. нашей эры...

Нумизматы составили большие каталоги древних монет, найденных в Северном Причерноморье. В них записаны места находок, места чеканки, металл, из которого сделаны монеты, курс хождения и другие разнообразные сведения. Человек не в силах правильно систематизировать эти горы материала, чтобы сделать историко-экономические выводы. Обработка его на вычислительных машинах дает возможность построить историческую теорию, основанную на «нумизматических» данных, торговых и культурных связей этого района древнего мира, его политической экономии...

В распоряжении историков сейчас имеется множество сведений о первоначальном заселении Америки. Здесь не только исторические факты, но и материалы, представленные антропологией, палеографией, этнографией, языкознанием и другими науками. Вычислительные машины помогают рассортировать этот океан сведений, найти и сопоставить в нем отдельные, наиболее значительные детали, которые позволят перейти от зыбких гипотез к реальной картине действительности. Так, благодаря машинам снята проблема точной классификации миллионов разрозненных фактов информации для научных выводов.

Можно ли, строго говоря, назвать эти примеры машинном изучением истории? Безусловно, нет. Перед нами лишь применение электронных быстродействующих машин для решения каких-либо — всегда отдельных, всегда четко ограниченных — задач. Здесь машина использована точно по прямой своей «специальности» — способности к быстрой, весьма абстрактной манипуляции с большим числом данных, перед которыми человек пасует, чувствует себя безоружным.

Когда же речь заходит «о прошлом перед судом машин», имеется в виду несколько иное: сам предмет науки — история, исторический процесс. И это куда более сложная, более трудная проблема.

Что значит подойти к истории с позиций кибернетики? Это значит в той мере, в какой это возможно (и нужно!), формализовать историю, т. е. довести исторический анализ до конкретных программ, доступных для машинной реализации. Но именно в этой конкретности вся сложность задачи. История — наука, от которой не приходится ждать математической строгости, наука о непрерывном процессе. Все, что происходит в жизни сегодня, уже факт истории.

Несмотря на почтенный возраст исторической науки, несмотря на ее гигантский «багаж», много еще фактов и событий неизвестно историкам. Если бы история была такой цепью

событий, где в целости каждое звено! Нет, к сожалению. Цепь разорвана — и во многих местах. Далее, историку недоступен эксперимент. Но ведь сегодня историк может моделировать отдельные фрагменты исторического процесса. Может на моделях проверять гипотезы — предположения о подлинном ходе событий, даваемых ему историческим описанием, этим «посредником» между прошлым и настоящим.

Обычная картина для историка — одно и то же событие описано в нескольких источниках и в каждом по-своему. И часто они не соответствуют друг другу.

Наконец, еще одна трудность применения кибернетики; в истории — ее нравственное содержание.

Трудность, причем достаточно принципиального рода в применении кибернетики и математики к исторической науке видел уже Н. Винер. Он писал, что «в общественных науках мы имеем дело с короткими статистическими рядами и не можем быть уверены, что значительная часть наблюдаемого нами не создана нами самими... Мы слишком хорошо настроены на объекты нашего исследования, чтобы представлять из себя хорошие зонды. Короче говоря, будут ли наши исследования в общественных науках статическими или динамическими — а они должны быть и теми и другими — они могут иметь точность лишь до очень небольшого числа десятичных знаков и в конечном итоге никогда не доставят нам такого количества значащей информации, которое было бы сравнимо с тем, что мы привыкли ожидать в естественных науках. Мы не можем позволить себе пренебрегать социальными науками, но не должны строить преувеличенных надежд на их возможности. Нравится ли это нам или нет, но многое мы должны предоставить «ненаучному», повествовательному методу профессионального историка».

И тем не менее применение кибернетики; и математики в историческом анализе в определенных рамках и возможно, и необходимо,

«Рассуди, машина!»

Так озаглавил свою статью профессор В. Кудрявцев, один из ведущих специалистов по применению кибернетики в юриспруденции. Заголовок не оставляет сомнения в намерениях автора. Действительно, он пишет: «... Мы хотим, чтобы справедливость, гуманность, неотвратимость, истина и все прочие юридические категории стали столь же точными, основывались бы на таких же бесспорных данных, как это имеет место в категориях математики, физики, химии...»

Право — это область, которая тоже занимается управлением, организованным регулированием поведения людей. И кибернетика — наука об управлении, о регулировании и саморегулировании, правда сложных динамических систем. Вполне естественно, что юристы стремятся к тому, чтобы максимально повысить эффективность, надежность регулирования, которым они занимаются. В юридической практике, как нигде больше, нужны четкость, научная обоснованность решений, и именно здесь оказываются полезными кибернетические методы.

Вот мнение академика А. И. Берга: «Если учесть, что юридические науки изучают поступки и действия, совершенные человеком, общающимся с огромным количеством других людей в самой разнообразной обстановке, что изучаются действия, вызываемые определенными причинами, то следует признать, что имеются все основания применять здесь науку, базирующуюся на изучении массовых, вероятностных явлений и закономерностей».

Непосвященный не знает, что правовых норм — законов, постановлений, актов, действующих в данный момент на территории нашей страны, — бесчисленное множество. Ни один юрист не в состоянии; назвать точную цифру. Как же упорядочить это сложное «хозяйство»? Как обеспечить его непротиворечивость и внутреннюю стройность?

В. Кудрявцев отсылает нас к работе группы юристов и математиков под руководством профессора Керимова. Они подвергли правовые системы строгому логическому анализу с помощью электронно-вычислительной машины. Они сравнили все постановления по одному из правовых вопросов, содержащихся в различных законах, выявили все противоречия, упростили изложение. Стало ясно — словесные юридические описания можно плотно «упаковать» в экономный, не знающий повторений и двусмысленностей «математический код». А это уже позволяет реально заняться созданием справочно-информационной службы в области права.

Как нужна такая служба! Люди, далекие от юриспруденции, не очень-то хорошо знают кодексы законов. Они не читают их, как газету, не раскрывают их в свободное время вместо романа или томика стихов. А представьте себе, как было бы хорошо поднять телефонную трубку и через несколько секунд получить юридическую справку: какие есть законы, что они предписывают, какие есть ограничения, а главное — какие есть дозволения.

Но ведь от справочно-информационной службы до «рассуди, машина!» расстояние огромное. А что может сделать кибернетика непосредственно в самой правовой науке, в законодательстве, в судопроизводстве?

Полной ясности в этом вопросе нет. Здесь мы, как в исторической науке, сталкиваемся со сложными проблемами. Машина «знает» формальную логику, разбирается в абстрактных категориях. Но юридическая наука всегда сопоставляет абстрактное с живой реальностью, с содержанием самого факта или явления. Поэтому в каждом конкретном случае возникает множество связей и оттенков. И перед их «субъективной бесконечностью» бессильна формальная логика.

Посмотрите, что получается. Можно обозначить символами; судебное решение об удовлетворении, допустим, иска о разводе и предусмотренные законом предпосылки для такого решения. Различные комбинации символов будут соответствовать жизненным ситуациям, тем более что статистика подтверждает определенную повторяемость в причинах разводов. Например, в Чехословакии в 1960 г. из более чем 15 тыс. бракоразводных процессов три четверти составляли те, когда виновной стороной были мужья и вызывались пьянством, неверностью или уходом к другой женщине. А при виновности жен главным поводом более чем в половине случаев была одна-единственная причина — неверность.

Однако все в этих сложных жизненных коллизиях основано на формальной схожести. А в жизни, например, неверность имеет столько различных нюансов, что иной раз ее даже нельзя классифицировать как неверность. Конечно, все это пока недоступно машине.

Судопроизводство, как известно, состоит из судебного разбирательства и вынесения решения. Машина, по всей вероятности, сможет помочь судье привести в систему результаты дознания, сопоставить отдельные показания, логически проанализировать их, выявить возможные противоречия или недостаточность доказательств. Этим она значительно ускорит, уточнит и облегчит судейскую работу.

Но это всего лишь облегчение судейской работы, которая подводит к применению правовой нормы. А от этой нормы зависит принятое решение. Иными словами, судьба человека. Попробовал ли кто-нибудь запрограммировать норму права? Не для того, чтобы следовать модному увлечению кибернетикой, а для того, чтобы под кибернетическим углом зрения детально, во всех подробностях проследить путь формирования вывода судьи, раскрыть самый механизм оценки; доказательств и всю «сложную материю» судейского доказательства изложить языком логики.

На суд людской... (ЭВМ и брак)

Весной 1964 г., когда я был за границей, мне попала в руки газета, на последней странице которой я прочел... брачные объявления:

«20-летняя девушка хотела бы познакомиться с серьезными намерениями с хорошим молодым человеком».

«26-летний вдовец хотел бы найти бездетную жену».

«Молодой мужчина с ребенком хотел бы найти сыну хорошую мать».

Объявлений было много, разных. Я был очень удивлен. Такое в наше время!

Но не будем, однако, спешить с выводами. Давайте непредвзято посмотрим, как в действительности обстоит дело.

Известно, что на Западе брачные объявления — дело привычное. Теперь же для знакомства с целью вступления в брак применяются вычислительные машины, своего рода «электронные свахи». Желаящие вступить в брак заполняют подробную анкету (возраст, образование, вкусы, привычки, цвет глаз и т. д., материальное положение), высказывают пожелания в отношении будущего супруга. Перфокарты с этими сведениями закладывают в электронную машину, которая занимается подыскиванием супруга или супруги. Иногда ей сообщают и сведения, полученные с помощью, например, энцефалографа или других приборов.

В среднем перфокарта содержит около 80 вопросов. Подыскать ответы на них нелегко. Ведь надо произвести колоссальный перебор, чтобы подыскать оптимальный вариант. Брачное посредничество для электронной машины — дело хлопотливое и нелегкое. Недаром машина ИБМ-1410 в Цюрихе за три года «создала» всего 50 семей. Правда, подготовила браки — дала рекомендации — свыше чем для 1000 мужчин и 1600 женщин.

Студенты Гарвардского университета приспособили для знакомства «электронную советчицу». Заметьте: советчицу, а не брачную машину! За первые 9 месяцев работы она получила 90 тыс. запросов от учащихся со всей Америки. Сообщив машине свои данные и описав свои «требования», вы через некоторое время получаете пять имен с адресами для знакомств. При этом молодые люди не всегда влюбляются друг в друга. «Мы отнюдь не пытаемся создать какой-то эрзац любви,— говорят те, кто работает с «электронной советчицей»,— мы просто хотим сделать любовь более полноценной. Мы обеспечиваем все, кроме, разумеется, любовной искорки». Решение принимает человек, руководствуясь своими чувствами, но учитывая информацию, полученную от машины. Машина отнюдь не заставляет жениться; она только помогает знакомству, знакомству на основе большой информации друг о друге.

Мне особенно хотелось бы подчеркнуть, что машина свои рекомендации выносит на суд людей. Им — людям, а не ей — машине — дано последнее слово.

Важно заметить, что таким образом может снизиться элемент случайности и непродуманности встреч и союзов. Совет машины как бы заранее готовит людей к контакту; машина устанавливает своеобразное заочное узнавание. Я бы сказал даже так: в обращении к машине, в ожидании ее совета, во всем этом не таком уж быстром процессе есть значительный элемент психологической подготовки к браку.

Любопытно, что в Чехословакии имеется «Служба знакомства для тех, кто хочет вступить в брак». У этой службы не так уж мало работы. В стране женщин на 140 тыс. больше, чем мужчин. В стране почти миллион вдов. В Праге, например, на шесть вдов приходился один вдовец, а на трех разведенных женщин один разведенный мужчина. Среди одиноких не только разведенные и холостяки, но и много молодых девушек.

Все они, если не все, то подавляющее большинство, хотят найти спутника жизни. Общественное мнение не очень-то пока одобряет знакомство с помощью объявлений или машин. Но, по мнению чехословацких журналистов, все дело во времени — непривычно, хотя к «службе знакомства» обращаются тысячи и тысячи людей. Только пражское бюро за 3 года зарегистрировало 300 «машинных» свадеб. Самой молодой клиентке — 18 лет, самой старшей — 81 год.

А не напрашивается ли из всего сказанного вывод: рекомендации электронной машины все-таки облегчают поиски будущего супруга, указывают верное направление, ликвидируя много преград на пути к знакомству? Тем более что установлено: лица, вступившие в брак с помощью вычислительной машины, почти никогда не разводятся!

Вот поэтому-то и стоит во всем досконально разобраться.

Обратимся к некоторым данным по Советскому Союзу. Заставим голую статистику нарисовать для нас хотя бы приближенную картину брака и семьи. По некоторым данным в 1961 г. у нас было около 30 млн. холостых мужчин в возрасте от 18 до 60 лет и 35 млн. незамужних женщин. Немало, даже очень много. Можно этих людей условно принять за потенциально желающих вступить в брак. Теоретически можно допустить, что каждый 60-летний холостяк, решивший, наконец, создать семью, должен в поисках оптимальной пары «перебрать» 35 млн. незамужних женщин! Труд не из легких. А практически?

Где можно познакомиться? Статистика отвечает точно. Из числа опрошенных 27,2% знакомятся в местах проведения досуга, 21% — на работе, 9% знакомы с детства, 5,7% знакомятся на домашних вечеринках, 5,2% — в местах летнего отдыха, а дальше идут незначительные проценты знакомства через родственников, в общежитии, в трамвае, на улице, в самых различных местах.

Как видим, для эффективного знакомства выбор неширок. Почти половина знакомств — на работе и «в местах проведения досуга».

А как быть женщине, которая работает среди женщин, и мужчине, работающему среди мужчин? Таких немало! Как быть тем, у которых и места проведения досуга в «женских» или «мужских» городах, — таких тоже немало!

А между тем давно известно, что одним из наиболее очевидных факторов, влияющих на супружеский выбор, является географическая близость. Вероятность женитьбы девушки

из Кишинева и молодого человека из Улан-Удэ чрезвычайно мала. Как правило, большинство браков заключается внутри города или близлежащих мест в сельской местности.

Больше того, социологи утверждают: «Для брачного выбора важное значение имеют профессиональные группы. Существует большое сходство между профессиями мужа и жены, мужа и отца жены, отцов мужа и жены».

А долго ли знают люди друг друга перед браком? Продолжительность знакомства в несколько дней — только 3%, до шести месяцев — свыше 9%, до года — 5,6%, до двух лет — 23%, до пяти — 14%. Рекорд — 26,6% — у тех, кто знаком от двух до трех лет.

Обратите внимание на то обстоятельство, что всего лишь 17% знали друг друга до вступления в брак менее года. Все остальные не решаются связать себя «узлами Гименея», не изучив друг друга до вступления в брак в течение года и больше. Вот тут-то и напрашивается восклицание: чего же бояться «электронной советчицы», «электронного знакомства»!

Прошу извинить меня за обилие цифр и статистики, но это в данном случае — лучший способ убедить, показав объективность фактов.

Для того чтобы сделать некоторые выводы, нам надо знать, что говорит статистика о главном условии прочного брака. 76% опрошенных называют любовь или любовь в сочетании с общностью взглядов, доверием, искренностью; 13,2% — равноправие и уважение; 4% — любовь и жилплощадь; 1,6% — любовь и материальное благосостояние; 0,6% — наличие детей; 0,2 — «реальные взгляды на жизнь» (4,2% не дали никакого ответа). А молодежные анкеты свидетельствуют, что примерно 98,5% наших юношей и девушек считают основой семейного счастья любовь или любовь в сочетании с дружбой и уважением.

Итак, подавляющее большинство вступающих в брак ищет общности взглядов, доверия, искренности и целого ряда других категорий взаимности. Может быть поэтому большинство людей присматриваются друг к другу и год, и два, и больше, прежде чем вступают в брак. А меньшинство по статистике всегда будет спешить независимо от того, знакомятся ли они с помощью машины или без нее.

Как много заключается у нас браков и какова их крепость? К сожалению, полных сведений у меня нет. Но и отдельные выборочные данные, полученные с помощью различных публикаций (главным образом из «Вестника статистики» № 11, 12 за 1975 г. и «Население СССР. 1973». М., «Статистика», 1975), показывают следующее.

Браков у нас заключалось и заключается много: ежегодно 2 миллиона. На 1000 человек населения — 12,1. По сравнению с другими странами это выглядит так: ФРГ — 9,4; США — 8,5; Англия — 7,5; Франция — 7,0.

А как обстоят дела с разводами? Настораживает (и на это нельзя не обращать внимания) рост числа разводов: в среднем официально расторгается почти каждый третий брак.

А какова причина расторжения брака? Ответить на вопрос определенно трудно. Но в подавляющем большинстве случаев в неполучившихся браках виновата «несовместимость» супругов, то, что они в свое время не изучили друг друга, не определили качеств, взаимно удовлетворяющих их.

Правда, известно, что немало браков расторгается и людьми, прожившими в добром согласии 5, 10 и более лет. Но мы говорим о начальных условиях заключения брака с определенной степенью надежности. Здесь трудно приводить другие положения, кроме совместимости будущих супругов, чувства уважения их друг к другу и, конечно, главное — взаимной любви.

Проблема разводов — проблема чрезвычайно сложная. Не следует разъяснять, что несет с собой развод: душевную драму личности, ущерб обществу, рост социальных недугов.

Конечно, существует немало способов борьбы с разводами, укрепления браков. Но, вероятно, они исчерпываются не только психологическими, моральными и общественными воздействиями. С тех пор как автор статьи в 1968 г. в сборнике «Кибернетика ожидаемая и кибернетика неожиданная» впервые у нас в стране поднял вопрос о применении ЭВМ для службы знакомств, шумные дискуссии на эту тему не утихают и сегодня, хотя прошло уже более 10 лет. Обсуждение проблемы, в которой принимали участие ученые разных специальностей: психологи, медики, социологи, философы, математики-программисты и многие другие, показало, что значительна еще сила инерции в вопросе, о котором идет речь. Не занимались им всерьез социологи, не делалось глубоких психологических анализов, не проводилось опросов, новейшие средства и методы науки здесь не применялись.

А может быть, полезным окажется и кибернетический подход к проблеме, когда ЭВМ не только сыграют роль чисто информационную для службы знакомств, но и как бы смоделируют будущую семью в каждом конкретном случае уже состоявшихся знакомств. Ведь отвечает нам сегодня ЭВМ на вопросы, рухнет или выстоит века та или иная еще не воздвигнутая плотина, полетит или развалится в воздухе тот или иной еще не построенный самолет. Давайте спросим ЭВМ, будет ли прочной семья, рождающаяся из конкретных «ОНА» и «ОН». Вероятно, стоит потрудиться над математической моделью семьи, чтобы потом иметь как можно меньше реальных «неполучившихся» семей.

Конечно, каждый понимает: одно дело модель плотины с вполне конкретным, ограниченным числом данных, другое — «модель семьи» с ее практически неограниченным числом параметров, сама социальная суть которых еще не совсем ясна. Но взялась же наука за проблему моделирования интеллекта. Разве это более простая задача?

Как же можно обойтись в наше время без серьезной, глубокой разработки проблемы, когда наукой вскрыты, например, вопросы совместимости личностей?

Никого не шокирует тот факт, что космонавтов, подготавливаемых к групповым перелетам, исследуют на психологическую совместимость, поскольку всем понятно, что между людьми, отправляющимися в многолетний совместный путь, с каждым часом, с каждым днем должно возникать все больше дружеских благожелательных отношений и связей.

Последние научные исследования показали: не так-то легко подобрать даже маленький коллектив, обладающий тенденцией к самоукреплению, самоусовершенствованию, развитию и укреплению связей. Зарубежная печать сообщала о случаях «распада» пар и групп космонавтов, несовместимых с точки зрения темпераментов, этических норм и т. д.

Скорее всего и тривиальная формула разводов — «несходство характеров» — не что иное, как психологическая несовместимость. Иными словами, я хочу сказать, что семью можно

уподобить паре космонавтов, отправляющихся в сложный, трудный, длительный путь — жизнь.

Здесь не приходится спорить. Умудренные опытом люди знают, как важна «взаимная притирка» — физиологическая, психологическая и социальная совместимость. Совместимость не вообще, а в браке. К сожалению, этой стороне мало уделяют внимания.

К примеру, до сих пор так и не решен вопрос, казалось бы, очень простой: какие люди лучше уживаются — похожие друг на друга или «сходятся крайности»? А ответ, вероятно, можно было бы получить, применив для исследования так называемые количественные методы. Другими словами, для определения качественных признаков личности надо найти соответствующий способ оценок — перевести обычные словесные психологические характеристики в цифровые.

Вероятно, можно разработать методику, которая помогла бы получить количественные данные и для объективной самооценки личности, и для оценки «оптимальной брачной пары». Небезынтересно, что при исследовании личности в коллективе установили значительное различие в оценках мужчин и женщин. «Если мужчины по сравнению с коллективом переоценивают свои интеллектуальные качества и физическую привлекательность, то женщины, наоборот, именно по этим качествам наиболее требовательны к себе». И еще: «Средняя оценка мужчинами женщин выше, чем оценка женщинами мужчин».

Это в коллективе. А в браке?

Конечно, читатель может обвинить автора в тенденциозности, в том, что он стремится привести все данные к одному выводу. Автор этого и не скрывает. Он за то, чтобы применять электронные машины в помощь тем, кто вступает в брак. Конечно, это совсем не значит, что завтра же надо поставить электронные машины в «Бюро добрых услуг». Но почему бы науке и одному из самых мощных ее средств — электронному «мозгу» — не помочь людям?

«Электронный советчик» непривычен, пугает, как непривычна и пугает необходимость ложиться на операционный стол по приказу диагностической машины. Но «...сегодня мы не кладем на операционный стол ни одного больного с врожденным пороком сердца без предварительного машинного диагноза», — заявляет известный хирург профессор А. А. Вишневецкий.

Разве в данном случае нет морально-этического аспекта? А ведь советы диагностической машины — это, если хотите знать, почти неумолимость решения, а «электронный советчик» — всего лишь путь к свободному выбору.

Прежде чем быть «против», следует взвесить все «за». К вопросу нужно отнестись без ханжества, без излишнего консерватизма. И, главное, не надо путать любовь с электронной машиной: отдадим и здесь человеку — человеческое, а вычислительной машине — машинное.

ВТОРЖЕНИЕ В TERRA INCOGNITA

ЯНУШ МИГДАЛЬСКИЙ

РЫШАРД ГАВРОНСКИЙ

ТВОРЧЕСТВО И КИБЕРНЕТИКА

Р. Х. ЗАРИПОВ

И. ГРЕКОВА

ВТОРЖЕНИЕ В TERRA INCOGNITA

ЭРА НАДЕЖНОСТИ

ЯНУШ МИГДАЛЬСКИЙ

Мир, в котором мы живем, состоит из технических конструкций, созданных человеком, и биологических конструкций, созданных природой. Парадоксально, но мы, еще не узнав всех тайн биологических конструкций, уже начинаем не понимать созданный нами самими мир механизмов и машин. В результате огромное большинство видов человеческой деятельности должно происходить в условиях неуверенности и риска. Приобретая, например, телевизор, автомобиль или другой механизм, мы рискуем, что он окажется ненадежным. Этот факт, возможно, придает нашей жизни известную прелесть, но для человека XX в. иногда становится и грозным, так как наша судьба бывает тесно связана с судьбой технических конструкций.

Существует, однако, теория, позволяющая в максимальной степени уменьшить процент риска в использовании технических конструкций. Она называется теорией надежности.

Начало эры надежности

В историческом развитии человека можно выделить два основных этапа развития техники: первый восходит к древнейшим временам (каменному веку) и состоит в поисках конструкций, многократно увеличивающих мускульную силу человека, второй датируется текущим столетием и характеризуется поисками конструкций, позволяющих во много раз увеличить его умственные способности.

В древности и в средние века ценность человека определялась силой его мышц. В настоящее время мощность, развиваемая человеком физического труда, составляет (в среднем) едва несколько десятков ватт: это значит, что при современных ценах на

электроэнергию стоимость этого труда составляет менее 1% его зарплаты. Сейчас при физической работе все более ценятся профессиональные навыки, опыт, находчивость и т. д. Опыт и навыки ценятся выше всего, так как являются результатом длительного процесса проб и ошибок, в котором «участвовали» умственные и физические усилия многих поколений.

Так называемые машинные конструкции позволяют исключить не только тяжелый физический труд человека (путем механизации), но и скучные, однообразные действия (посредством автоматизации).

Начиная с первых лет XIX в. происходило широкое и быстрое внедрение механизации в производственные процессы. Во второй половине XX в. все интенсивнее шла механизация и автоматизация сложных производственных процессов. Результатом механизации и автоматизации был колоссальный рост производительности труда. Подсчитано, что за сто лет (с 1850 по 1950 г.) производительность труда в развитых странах возросла более чем в 15 раз, причем главным образом за счет механизации и автоматизации производства; в 1850 г. около 94% производственных процессов совершалось вручную и только 6% были охвачены механизацией, тогда как в 1950 г. пропорция стала обратной: около 94% процессов было механизировано и автоматизировано и только 6% совершалось вручную.

За эти же сто лет (1850—1950) производительность умственного труда возросла только вдвое. Существует обоснованное предположение, что причиной такого низкого темпа роста производительности умственного труда было применение в этой области машин и приборов с очень низкой степенью надежности.

Создатели первой быстродействующей электронной цифровой машины ЭНИАК, построенной в 1945 г. и состоявшей всего лишь из 18 000 электронных ламп, 1500 реле и нескольких десятков тысяч сопротивлений, конденсаторов и т. д., с изумлением наблюдали, как их машина — плод многолетней работы коллектива — портится каждые 15—20 мин. Одна из сотрудниц, обслуживавших машину, писала: «... ЭНИАК, на котором мы работали, действовал быстрее прежних математических машин, но оказался машиной очень хрупкой и, можно сказать, капризной. Какие-нибудь лампы или контуры постоянно портились, а нам приходилось стоять без дела».

Беспрерывно совершенствуемый ЭНИАК работал для Центра баллистических исследований (США) до конца 1955 г., т. е. 10 лет. Хотя конструкторы, а потом и весь персонал ЭНИАКа выполняли свою работу хорошо, машина то и дело ломалась и делала ошибки в расчетах — иначе говоря, она не была надежной. Поэтому возникла совершенно новая техническая проблема, которую можно сформулировать следующим образом: «Можно ли построить достаточно надежную машину из элементов с конечной надежностью?»

Ответ на этот вопрос, основной для теории надежности, был получен только в 1952 г. Как формулировка вопроса, так и ответ на него были даны Дж. фон Нейманом в книге «Пробабалистическая логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент». В 1956 г. Э. Мур и К. Шеннон, обобщив выводы фон Неймана, доказали, что, применяя достаточное количество так называемых ненадежных элементов, можно построить техническую конструкцию с довольно высокой и требуемой степенью надежности. Так из потребностей инженерной практики родилась новая теория, которую сейчас мы называем теорией надежности.

Прочность и долговечность биологических и технических конструкций

Теория надежности прослеживает и предсказывает судьбы конструкций в течение всего их существования, включая «рождение» (период проектирования и изготовления) и «жизнь» (период эксплуатации) вместе с периодами различных «недомоганий» и «болезней» (ремонтов и простоев), приводящих в конечном счете к «смерти» конструкции (этап сдачи технической конструкции на слом) вследствие морального или технического износа.

Существуют конструкции с очень длительным периодом проектирования и постройки, но с необычайно коротким периодом эксплуатации (космические корабли, ракеты и пр.); бывают и другие — с очень коротким периодом проектирования и сооружения, зато с длительным



Рис. 1. Ход функции, изображающей интенсивность вымирания биологических конструкций.

Рис. 2. Вероятность для биологической конструкции прожить ровно X лет.

эксплуатационным периодом (например, предметы одежды). В табл. 1 и 2 даны средние цифры долговечности некоторых биологических и технических конструкций, а на рисунках показана типовая динамика функций, определяющих интенсивность вымирания конструкции в зависимости от времени (рис. 1) и ее надежность, измеряемая вероятностью, что конструкция проживает X лет (рис. 2). Легко догадаться, что в этом случае речь идет о биологической конструкции особого рода: о человеке.

Средняя длительность жизни человека, рассчитываемая по статистическим данным, бывает различной в различные исторические периоды и в различных географических районах. Как показывают исследования археологов, средний возраст в Древнем Египте составлял всего 18 лет. В Европе в отдельные периоды он составлял: в V в. — 27 лет, в XV в. — 33 года, в 1850 г. — 36,5 лет, в 1900 г. — 48,9 лет, в 1950 г. — 66,2 года. В настоящее время в экономически развитых странах средняя продолжительность жизни приближается к 70 годам, а в слаборазвитых нередко бывает менее 40 лет.

Некоторые ученые считают, что между закономерностями роста и развития организмов и длительностью их жизни существует тесная связь. Если бы расчеты, сделанные этими исследователями, применить к человеку, то оказалось бы, что мы должны жить по 187 лет. Есть

Таблица 1. Средняя долговечность (в годах) биологических конструкций

Ель	300	Овца	15	Утка	30
Сосна	400	Свинья	25	Крокодил	250
Липа	400	Кошка	15	Черепаша	200

Дуб	500	Собака	20	Лягушка	30
Секвойя	Несколько тысяч лет	Ворон	80	Сом	100
Слон	80	Попугай	70	Щука	80
Конь	30	Голубь	35	Карп	80
Корова	30	Курица	20	Человек	70

Таблица 2. Средняя долговечность (в годах) технических конструкций

Радиоприемник	12	Автомобиль	8
Электрическая стиральная машина	10	Занавески	7
		Диваны и кушетки	14
Швейная машина	30	Ковры	13
Телевизор	8	Газовые плиты кухонные	16
Электрический пылесос	11		
Электрический адаптер	9	Стол	33
Мотоцикл	10	Сельские дома	70
Электрический холодильник	9	Египетские пирамиды	Несколько тысяч лет
Электрополотер	9		

и другие способы расчета продолжительности жизни человека. Например, известно, что с возрастом уменьшается чувствительность глазной сетчатки. Наблюдая динамику этого влияния на протяжении нескольких десятков лет, можно высчитать, когда ее чувствительность снизится до предельного значения. Это было бы одним из проявлений смерти организма от старости, а произошло бы это в возрасте 185 лет. Как видим, поразительные по своей сходимости результаты.

Какой же смертью мы умираем в таком случае, если не достигаем этого возраста? Эта смерть оказывается почти исключительно случайной т. е. вызывается внешними факторами. Люди, в сущности, никогда не умирают типичной смертью от старости. Специалисты по судебной медицине, которым приходится фиксировать все смертные случаи, утверждает, что им никогда еще не приходилось видеть, чтобы человек умер «от старости». Всегда должна быть какая-нибудь внешняя причина, смерть всегда бывала случайной, а значит — с биологической точки зрения — преждевременной.

Хотя типичная смерть от старости мало вероятна, она все же возможна. На эту тему есть множество легенд и рассказов. Приведем один из таких рассказов, взятый из книги А. Гренбецкого «О жизни и смерти в природе». Вот он. 31 июля 1554 г. кардинал д'Арманьяк встретил на улице 80-летнего старца, заливавшегося горькими слезами. На вопрос о причине его горя тот ответил, что его побил... отец. Удивленный кардинал захотел увидеть отца. Ему представили крепкого мужчину в возрасте 113 лет. Он объяснил кардиналу, что поколотил сына за то, что тот не оказал должного почтения своему деду. И

действительно, в этом доме кардинал увидел и старика, возраст которого насчитывал 170 лет.

Из-за отсутствия достоверных документов сбор информации о долгожителях только на основе устных сведений — дело довольно спорное; накопление же информации о максимальной долговечности технических конструкций весьма желательно для науки, особенно для теории и техники надежности.

Надежность системы человек—машина

Проблема надежности системы человек—машина занимает сейчас в теории и технике надежности центральное место. Это вытекает главным образом из того, что для нынешних систем, особенно крупных, характерен симбиоз человека и машины, состоящий в том, что элементы машин (технических конструкций) иногда встречаются в живых системах (биологических конструкциях), а живые компоненты являются неотъемлемыми составными частями машин. Укажем для примера, что в Польше кардиологи поставили больным 711 сердечных стимуляторов (около 500 больных живут только благодаря этим устройствам), 1160 электродов и 211 искусственных клапанов. С точки зрения теории надежности человек в такой системе может считаться одним из многих составляющих ее элементов; сама же система может иметь какую угодно сложную структуру надежности, характерную для ее пространственно-временной организации. На рис. 3 приведены два примера структуры надежности в простейших системах человек—машина с соотношением: один человек — одна машина. Характерной чертой такой системы с параллельной структурой (рис. 3, б) является то, что она может правильно выполнять свои задания и без участия человека (автомат), а присутствие его желательно лишь в целях повышения надежности системы. Напротив, в системе, показанной на рис. 3, а, присутствие человека необходимо с функциональной точки зрения.



Рис. 3. Структура надежности простейших систем: а — последовательная, б — параллельная

Симбиоз человека и машины чрезвычайно ярко проявляется в процессе промышленного производства, при полете космических кораблей с экипажем, вождении воздушного и морского транспорта (ночная навигация самолетов для подводных лодок), при автоматической медицинской диагностике, при управлении железнодорожной сетью и т. д.

Одним из основных видов деятельности человека в системе человек—машина является управление машиной или группой машин, т. е. выполнение функций оператора. Работа оператора заключается в следующем:

- поддержание определенного состояния машины по показаниям приборов на пульте управления, т. е. прием определенного входного сигнала X ;
- реакция на принятый сигнал (обработка информации, которую несет сигнал X);
- принятие конкретного решения в виде выполнения определенного действия на пульте управления, т. е. передача выходного сигнала Y .

Практика повседневной жизни показывает, что работа оператора зависит даже от малейших конструктивных деталей машины. Например, при снятии показаний с круглых циферблатов возникает 35% ошибок, с применением же указателей так называемого окошечного типа (в окошке появляются отдельные цифры показаний) процент ошибок снижается до 0,5. Таким образом, в зависимости от способа размещения различных органов управления, от характера надписей, от величины и формы индикаторов, от степени их освещенности работа оператора становится более или, менее надежной.

Для иллюстрации затронутых вопросов рассмотрим следующий пример. Зажигается сигнальная лампочка (сигнал X). В результате этого оператор нажимает клавишу управления машиной (сигнал Y). Какова вероятность, что оператор выполнил данное действие правильно (какова надежность оператора)?

Надежность приема оператором входного сигнала X для данной машины можно определить по следующей таблице:

Рабочий элемент машины	Степень надежности
Диаметр сигнальной лампочки 6,4—12,7 мм	0,9997
Количество лампочек, зажигающихся одновременно: 3—4	0,9975
Непрерывный способ сигнализации	0,9996
Произведение	0,9968

Надежность работы оператора в области мыслительного процесса, т. е. обработки принятой информации, составляет 0,9990.

Надежность выполнения выходной операции Y , т. е. вероятность правильного нажатия соответствующей клавиши машины, приведена ниже:

Рабочий элемент машины	Степень надежности
Миниатюрная клавиша	0,9995
Один ряд	0,9997
Расстояние	0,9998
Отсутствие блокады	0,9998
Произведение	0,9983

Перемножая вычисленные величины, получим степень надежности оператора при выполнении рассматриваемой операции:

сигнальная лампочка (0,9968) \times мыслительный процесс (0,9990) \times клавиша (0,9983) = 0,9941.

Для определения надежности оператора, выполняющего целый ряд операций в продолжение длительного времени (например, в течение рабочего дня), нужно перемножить отдельные показатели надежности этих операций. Тогда в конечном результате мы получим степень надежности оператора, выполняющего комплексное задание.

Ошибка оператора иногда может оказаться катастрофической или привести к значительным экономическим потерям. Например, ошибка дежурного на железнодорожной станции в Зомбковицах, по сообщению прессы, обошлась больше чем в миллион злотых. При осмотре диспетчерской в Зомбковицах выяснилось, что клавиши, служащие для включения маневровых кругов, должны были иметь белый цвет, а клавиши параллельных сигналов — черный. В Зомбковицкой же диспетчерской все клавиши были одинакового цвета — черные. Это создавало еще большую опасность ошибки. Только после катастрофы клавиши поворотных кругов получили обязательную белую окраску. К сожалению, слишком поздно!

Самые слабые и самые прочные звенья

Существующие в настоящее время биологические конструкции формировались и совершенствовались на протяжении многих миллионов лет. Путем мутаций и приспособления они достигли сравнительно высокой степени надежности. Особенно высокой степенью отличается нервная система живых организмов, для которой характерна также высокая степень запаса. Так, хирургическое удаление значительной части мозга не приводит к заметному нарушению его основных функций.

В сравнении с машинами, история которых едва насчитывает несколько тысячелетий, а в некоторых случаях — несколько десятков лет или даже просто несколько лет, логика построения биологических конструкций оказывается совершенно иной. Живые организмы достигают высокой степени надежности главным образом благодаря тому, что отдельные органы у них состоят из огромного количества основных и резервных элементов. Таким образом, согласно принципу редунданции (излишества) роль отдельных элементов в организме невелика сравнительно с ролью соответствующих элементов в технических системах, так как влияние повреждения некоторого количества таких элементов ничтожно мало с точки зрения теории надежности, ибо не приводит ни к каким вредным результатам.



Рис. 4. Пример многоэлементной конструкции с последовательной структурой

В технических же конструкциях господствует диаметрально противоположный принцип, так называемый принцип парсимонии (латинское — «скупость»), согласно которому лучшей конструкцией является конструкция, состоящая из меньшего количества компонентов. Кроме того, элементы, значением которых для действия конструкции можно пренебречь, вообще устраняются как излишние. В результате в такой конструкции нет никаких посторонних элементов, но структура ее надежности становится последовательной; поэтому повреждение любого из элементов приводит к аварии всей конструкции. На рис. 4 приведен пример такой конструкции, состоящей из 101 элемента,

среди которых 100 обладают степенью надежности $R_{100} = 0,99$, а один — $R_{101} = 0,9$. Таким образом, этот элемент является в данной конструкции самым слабым звеном.

В процессе синтеза надежности систем конструкторы и изготовители направляют главные усилия на то, чтобы улучшить лишь самое слабое звено рассматриваемых систем (это особенно важно в космонавтике). Как показала практика (а теория надежности этот факт подтверждает), такой метод оказывается нерациональным, если совершенствуемая техническая система состоит из большого количества элементов.

Для нашего случая степень надежности всей системы $R = 0,99^{100} \times 0,9 = 0,33$ (это очень мало). Даже если повысить надежность самого слабого из элементов (звеньев) до $R_e = 1$, то получим: $R = 0,99^{100} \times 1,0 = 0,37$; следовательно, рост надежности системы, полученный в результате ликвидации слабейшего из ее звеньев, оказывается незначительным.

Если же повысить надежность каждого из 100 элементов данной системы только до значения $R_e = 0,9999$ (т. е. только на 1%), то степень надежности всей системы возрастет до значения $R = 0,9999^{100} \times 0,9 = 0,9908 \times 0,9 = 0,89172$; это значит, что надежность системы возрастет очень сильно — больше чем на 270%. Из анализа приведенного примера следует, что если; система состоит из большого количества элементов, то улучшение самого слабого из них не дает заметного эффекта.

В практике чаще всего бывает так, что отдельные элементы или типы элементов системы обладают различной степенью надежности, причем почти всегда можно найти тип, составляющий в ней самое слабое звено. Предположим для иллюстрации, что мы рассматриваем комбинат, производящий (монтирующий) определенные изделия и сотрудничающий при этом со 101 кооперантом.

Надежность работы комбината зависит от надежности работы кооперантов, и ее можно выразить формулой

$$R = R_1 \times R_2 \times R_3 \dots R_i \dots \times R_{99} \times R_{100} = R_{101},$$

предполагая при этом, что чем выше номер кооперанта, тем выше качество его продукции. Тогда кооперант с номером 1 будет вначале составлять самое слабое звено комбината. Если же в результате усиленных поисков ему удастся значительно повысить надежность своих изделий, то он передвинется на i -е место. Тогда его прежнее место займет кооперант под номером 2 и пробудет там до тех пор, пока не усовершенствует своей продукции. Если он сделает это, то передвинется вперед и т. д. Таким образом, система постепенно (скачками) повышает свою надежность, а самое слабое из ее звеньев находится в постоянном движении — оказывается кочующим. Кочующее звено является здесь символом технического прогресса, а этому именно и служит вся практика теории надежности.

Стратегия борьбы за надежность

С точки зрения теории надежности всю деятельность человека (и природы) в отношении к существующим биологическим и техническим конструкциям можно рассматривать как направленную к стабилизации или изменению (уменьшению или увеличению) степени надежности этих систем. Хотя чаще всего мы говорим только о повышении этой степени, но практически довольно часто встречаются случаи, когда целью деятельности является только ее снижение (например, борьба с болезнями).

В случаях намеренного и целенаправленного влияния на степень надежности систем тотчас же возникает проблема выбора оптимальной стратегии действий, направленных на достижение максимального эффекта при минимально возможном расходе сил и средств. Возникает проблема выбора стратегии борьбы за надежность.

Для иллюстрации этого вопроса рассмотрим еще раз две простые двухэлементные системы, представленные на рис. 3; пусть элемент R_e является в них самым слабым звеном, а элемент R_m — самым сильным. Для упрощения рассуждений предположим также, что располагаем средствами, позволяющими усиливать (на одну и ту же относительную величину) либо только самое слабое, либо только самое сильное звено. Разумеется, можно представить себе и другое распределение средств.

Таким образом, перед нами встает проблема оптимального с точки зрения теории надежности способа использования определенных средств для повышения степени надежности систем с двумя различными структурами. Простой расчет показывает, что в случае последовательной системы (см. рис. 3, *а*) все примененные стратегии влияния одинаковы по результатам; в случае же параллельной системы (см. рис. 3, *б*) оптимальной будет стратегия воздействия на ее самое сильное звено. Это означает, что степень усиления (или ослабления) параллельной системы достигает максимума при воздействии на сильнейшее из ее звеньев.

Эти выводы могут быть довольно неожиданными, но наблюдения над биологическими системами, в которых параллельные структуры встречаются всегда, подтверждают их правильность. Будем поэтому присматриваться к живым организмам, выбирая всегда оптимальную стратегию борьбы за максимальную надежность.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЗГА — ФАНТАЗИЯ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

РЫШАРД ГАВРОНСКИЙ

Можно ли построить модель мозга? Этот очень спорный вопрос все чаще задают специалистам, особенно нейрофизиологам и нейрокибернетикам. Ответы бывают либо отрицательные, либо очень осторожные, со всяческими оговорками, хотя случается, что известные ученые высказываются на эту тему и с большим энтузиазмом.

Цель настоящей статьи — попытаться, не отягчая себя излишней осторожностью, ответить на несколько вопросов, связанных с моделированием нервной системы. Речь идет о следующих вопросах: какова цель (или цели) построения модели этого типа? Располагаем ли мы достаточным количеством данных для построения нетривиальных моделей? Какие функции нервной системы можно смоделировать уже сейчас, а какие — в более или менее близком будущем?

Ответ на первый вопрос, относящийся к цели моделирования, тесно связан с другим очень простым с виду вопросом: что значит понятие свойства и действие определенной технической, биологической или социальной модели? Для статических систем, даже очень сложных, в которых не происходят процессы, изменяющиеся во времени, или в которых эти процессы имеют очень простой (например, периодический) характер, достаточно более или менее подробно описать строение системы — будь то мост или стебель растения,— чтобы удовлетворить нашу любознательность. Зато вопрос о том, почему система устроена так, а не иначе, считается кое-где (особенно в биологии) неуместным, так как носит телеологический характер.

При изучении обширного класса нетехнических устройств с аналогичной структурой исследователь ищет определенные постоянные (иногда в статистическом смысле), повторяющиеся соотношения между соответствующими системами, частями систем или другими явлениями и представляет их в форме объективно доказуемых научных законов.

Совсем иначе выглядит ситуация, когда мы анализируем процессы, отличающиеся большой изменчивостью и разнородностью, в системе, относительно которой предполагается, что она «выполняет определенные функции» в составе какой-то более крупной системы. Нас наверняка не удовлетворит даже самое точное и полное описание устройства, например, автомобильного карбюратора или — простите за сопоставление — сердца животного, и для того, чтобы лучше понять их, понадобится связать происходящие в системе процессы — направление и скорость движения газовых смесей в карбюраторе, направление и дебит крови в желудочках сердца — со структурой всего органа и отдельных его частей. Кроме того, возникает вопрос: а нельзя ли построить (или не мог ли возникнуть в процессе эволюции) орган в каком-либо отношении «лучше» анализируемого? Разумеется, этот вопрос предполагает наличие какого-то критерия для оценки системы: например, ее общий вес или количество энергии, потребное для выполнения тех же процессов. В случае технической системы заключительную часть предыдущей фразы можно сформулировать несколько иначе, а именно: количество энергии, необходимой для выполнения заданных функций.

Однако в отношении частей живых организмов такой вопрос задавать как будто нельзя, так как он постулировал бы целенаправленность их структуры. Во всяком случае, я могу поставить вопрос несколько иначе: каким образом структура данного органа и происходящие в ней процессы взаимодействуют с остальным организмом, дабы обеспечить ему выживание в среде (окружении) с достаточно высокой изменчивостью?

Если орган с иной структурой обеспечит организму выживание в более изменчивой среде (т. е. его параметры, температура, влажность, количество и характер корма могут изменяться в широких пределах), то такой орган мы будем в дальнейших рассуждениях считать «более совершенным» (избегнув таким образом частично споров из области философии природы).

Впрочем, в случае с карбюратором более совершенным из двух его типов будет тот, который обеспечит соответствующий состав смеси горючего с воздухом в более широком диапазоне температур среды. Этот пример может послужить нам для выяснения (но еще не для доказательства) того положения, что во многих случаях биологические структуры можно рассматривать в таких категориях, можно, в частности, анализировать их оптимальность, т. е. степень соответствия определенным критериям качества действия.

Дальнейшая проблема возникает, когда анализируемая система или орган настолько сложны, что практически не дают возможности подробно описать их строение а тем более

— происходящие в них процессы. В наибольшей степени это относится к нервной системе животных и человека. Даже у животных со сравнительно простым поведением, например у осьминога или лягушки, мозг состоит из миллионов нервных клеток, а у человека количество нейронов оценивается примерно в 20 млрд. Даже если бы нам удалось построить математические уравнения для описания всех взаимосвязей между рецепторами, нервными клетками и эффекторами, то польза от этих уравнений, заполняющих (при типовом способе записи) не менее тысячи страниц, была бы практически равна нулю. Предположим на минуту, что, используя новейшую технологию интегральных схем, нам удалось смоделировать эти уравнения с помощью соответствующей ЭВМ. Тогда мы получили бы устройство такое же сложное, как и мозг исследуемого животного, и главным выигрышем была бы возможность безболезненно проникнуть в любую точку системы. Но все-таки это была бы система настолько сложная, что проблема анализа ее свойств и принципов действия осталась бы нерешенной.

Нужно, кстати, пояснить, что невозможность построения подробной модели мозга не упирается — как считает часть биологов — в слишком большое количество элементов. Развитие технологии интегральных контуров с высокой степенью интеграции дает нам реальные шансы построить достаточно полную модель нервной клетки в объеме менее 1 см³ (в системах типа МО в значительно меньшем объеме содержатся аналоги нескольких тысяч транзисторов). Таким образом, в 1 м³ можно было бы поместить 10⁶ моделей нейронов, а в здании объемом 10—20 тыс. м³ уже можно было бы разместить модель мозга человека; а ведь с развитием технологии становится возможной и дальнейшая миниатюризация.

Основной проблемой при сооружении такой гипотетической модели было бы определение способа соединений между отдельными нейронами. Что это задача непростая, поможет убедиться следующий пример: имеется n элементов, которые можно соединить между собой односторонними связями. Сколько различных (но связных, т. е. не распадающихся на отдельные не связанные между собой подгруппы) типов структуры можно построить из n элементов? Схемы таких структур для $n = 2, 3$ (все) и 4 (примеры) приведены на рис. 1.

Рассчитать количество всех возможных структур оказалось делом нелегким, но результаты, сведенные в таблицу, потрясают. Из 10 элементов можно построить около 10 триллионов структур, а количество структур, могущих быть построенными из 20 элементов, оказалось больше количества атомов во всей видимой Вселенной. Отсюда вытекает теоретическая невозможность проследить все комбинации связей даже для не слишком большого количества нейронов.

Количество элементов сети	Количество связных графов (различных структур)
2	2
3	13
4	199
5	9 364
6	1 530 843
7	880 471 142
8	$1,79247\ 739\ 559 \cdot 10^{12}$

9	$1,3026161691 \cdot 10^{16}$
10	$3,4124740061 \cdot 10^{20}$
.	.
.	.
.	.
20	$1,0122172566 \cdot 10^{96}$

Еще интереснее выводы, касающиеся возможности таких структур. Если принять гипотезу (о которой речь пойдет ниже) о существовании крупных групп нейронов, в которых взаимодействия между клетками могут изменяться, то количество различных возможных процессов в такой сети с переменной структурой становится



Рис. 1. Примеры структур, состоящих из 2, 8 и 4 элементов

невообразимо огромным, а этим можно объяснить богатство явлений, происходящих в нервной системе.

Из всех этих рассуждений следует, что проблема определения способов связи между нервными клетками не подает надежд на быстрое разрешение; нейрофизиологические же, а особенно морфологические, исследования показывают, что простые правила соединений встречаются очень редко и относятся только к небольшим участкам мозга. По всем этим причинам исследования, касающиеся свойств и принципов действия мозга, пошли другим путем.

Кроме множества классических биологических методов, опирающихся на соответствующим образом проведенные эксперименты над живыми организмами, применяются два дополняющих друг друга метода математико-технического характера.

Первый из них состоит в определении принципов действия отдельных (обычно небольших) участков нервной ткани; эти принципы затем проверяются на моделях построенных так, чтобы процессы в модели и в ткани были возможно более близкими по характеру. Например на основе результатов различных исследований нервной клетки определяются так называемые информационные свойства нейрона (т. е. свойства, связанные с передачей импульсов от нейрона к нейрону), а затем строится электронный контур с аналогичными свойствами. Несколько таких элементов объединяют в простую сеть и изучают серию импульсов, возникающих в результате взаимодействия между моделями нейронов.

Иной пример такого рода исследований состоит в том, что из моделей нейронов строится сеть с постоянными типами соединений, например слоистая (рис. 2). Оказывается, что у сетей такого рода есть очень интересные свойства, наблюдающиеся также в тех участках нервной системы, которые анализируют информацию, поступающую на сетчатку глаза.

Рис. 2. Двухслойная сеть



Другой метод состоит в построении моделей некоторых точно определенных функций нервной системы, например создания различных условных рефлексов, обучения распознаванию простых образов и т. д. Конструкция такой модели, как правило, отличается от отдельных структур нервной системы, принимающих участие в моделируемых явлениях. Поэтому из огромного множества процессов, происходящих в нервной системе, мы выделяем некоторую группу явлений и строим такую математическую или техническую систему, чтобы происходящие в них процессы стояли возможно ближе к процессам, выбранным в живом организме.

Таким образом, мы приближаемся к ответу на первые два вопроса, сформулированные в начале статьи. До сих пор еще никто не ставил перед собой задачу построить модель всего мозга, хотя развитие техники автоматического переключения элементов позволит в будущем создавать системы подобной и даже более высокой степени сложности. В настоящее время строятся модели либо небольших участков нервной ткани, либо некоторых функций мозга. С помощью таких моделей можно проверить и обобщить познания об определенной группе явлений в нервной системе. В частности, с помощью моделей можно:

- упорядочить опытные данные;
- создать «базу» для точной терминологии, относящейся к исследуемым явлениям;
- проверить внутреннюю непротиворечивость последовательности явлений, иногда очень сложных, постулированных в результате нейрофизиологических экспериментов.

В ходе построения и изучения модели обычно возникает необходимость в дальнейших биологических экспериментах, а иногда и в проверке сомнительных результатов.

Однако упомянутые преимущества исследований на моделях подчеркивают лишь один из аспектов общей цели изучения процессов в нервной системе, а именно теоретически-познавательный, с возможными перспективами применения в медицине. В последние годы большое значение получил другой аспект этого типа исследований — практический, связанный с практическим применением.

В связи с быстрым развитием автоматизации технологических процессов и крупных информативных систем возникает необходимость в устройствах нового типа, могущих заменить человека не только в выполнении механической работы или простых вычислительных операций, но и в некоторых видах умственной деятельности, иногда очень сложной и трудной. Здесь можно указать в числе прочих:

- системы для автоматической оценки ситуаций, например диагностических консультантов для врачей или оценки метеорологической ситуации;
- системы для автоматического распознавания образов, т. е. для чтения текстов, для распознавания микроскопических изображений при массовых исследованиях и т. д.;

— системы для автоматического проектирования типовых устройств с учетом изменчивости требований на проектируемые устройства;

— системы для автоматического отбора информации с учетом ее содержания, а также системы для автоматического перевода текстов;

— различные виды роботов, заменяющих человека при выполнении опасных или тяжелых, а в будущем — вообще неинтересных работ;

— системы, обучающиеся оптимальному управлению обширными сетями транспорта, связи, распределения и т. д.

Как мы видим, диапазон возможностей применения систем высшего порядка (как они иногда называются) очень широк и несомненно будет расширяться. Но вот возникает вопрос: как подойти к проектированию таких систем? Быстрое развитие электроники создает возможности для сравнительно дешевого конструирования даже очень сложных систем. Стоит заметить, например, что благодаря низкой стоимости интегральных схем умелые любители могут соорудить себе миникомпьютеры, по своим вычислительным возможностям стоящие выше крупных (по размерам) цифровых машин первого поколения. Но о принципах действия ЭВМ написано уже так много, что конструирование типовых цифровых машин не представляет трудной проблемы; напротив, мы не знаем, как конструировать иерархические обучающиеся машины и другие системы, перечисленные выше. Неудивительно поэтому, что конструкторы этих машин стремятся использовать принципы действия нервной системы, когда разрабатывают общие концепции или способы решения систем высшего порядка. Исследования, ведущиеся на стыке биологии с техникой и направленные на использование принципов структуры и действия живых организмов в конкретных технических устройствах, часто называются бионическими; за последние годы они интенсивно развиваются во многих странах.

Создание моделей отдельных функций мозга является обычно первым и самым трудным этапом работ по бионике. Дальнейшие этапы сводятся к оптимизации принятых решений и к конструированию соответствующих прототипов. Часто случается так, что решение, принятое для производства, сильно отличается от первоначальных биологических аналогий; может встретиться даже такая парадоксальная с виду ситуация, когда слитком упрощенная или даже ошибочная концепция биологической модели, не подтвердившаяся в дальнейших исследованиях, становится стимулом для развития определенных технических решений.

В известной степени подобная ситуация возникла на первом этапе развития математических машин, особенно логических сетей, построенных на основе так называемой теории конечных автоматов (т. е. автоматов, могущих иметь лишь конечное число состояний). Большое влияние на развитие этих автоматов оказали работы фон Неймана, Мак Келлога и Питтса, касавшиеся моделирования нейронных сетей. В этих работах предполагалось, что нервную клетку можно заменить сравнительно простым логическим элементом, на входе и выходе которого могут возникать только два значения: 0 или 1, а характеристики по времени сводятся к постоянному запаздыванию. В настоящее время известно, что нервная клетка гораздо более сложна по структуре даже в тех случаях, когда мы ограничиваемся лишь основными свойствами, связанными с передачей импульсов.

Перейдем к следующему вопросу, поставленному в начале статьи. Очень часто подчеркивается, что наши познания о принципах действия нервной системы весьма

ограниченны, а многие из утверждений носят характер гипотезы. Ярким доказательством этого служит слабая связь между достижениями нейрофизиологии и психологическими исследованиями. Лишь в очень немногочисленных случаях психологические явления можно объяснить с помощью явлений и понятий, принятых в нейрофизиологии. Эти случаи относятся обычно к некоторым процессам восприятия или обучения. С другой стороны, нейрофизиологические работы идут широким фронтом, начиная с нейрохимических и нейроанатомических исследований и кончая чрезвычайно важными электрофизиологическими, вплоть до различных экспериментов с условными рефлексами, дополненных изучением влияний повреждений мозга. Все это позволило накопить огромное количество результатов, составляющих неисчерпаемый источник для кибернетических исследований.

В современных воззрениях на деятельность нервной системы за основу принята нейронная теория, дополненная нейрохимическими концепциями, гласящая, что основные функции нервной системы можно объяснить путем описания принципов взаимодействия огромного количества нервных клеток (нейронов), находящихся под



Рис. 3. Упрощенная модель нейрона: x_1, x_2, \dots, x_k — сигналы на входе (импульсы); u_1, u_2, \dots, u_k — сигналы управления на входе; v_1, v_2, \dots, v_k — величины на выходе; Σ — элемент, суммирующий входные сигналы с учетом их регуляции; Y — выходной сигнал; USW — система управления величинами

влиянием различных рецепторов: эти рецепторы служат для нервной системы источником информации об окружающей среде и о состоянии организма. Поэтому нейрокибернетики наряду с нейрофизиологами уделили большое внимание определению информативных свойств нейрона. Упомянутая простая модель Питтса—Мак Келлога изменилась за последние 30 лет до неузнаваемости, и в настоящее время электронная система, описывающая свойства нервной клетки, состоит из нескольких десятков элементов. Функциональная схема такой системы представлена на рис. 3. Это аналого-импульсная система: в ней происходят процессы, непрерывно меняющиеся во времени, и импульсные.

Одним из самых интересных свойств современных моделей нейрона является возможность автоматического управления значениями на входе. Это означает, что доля участия каждого входа в генерировании сигнала на выходе не обязательно должна быть постоянной, а ее изменения можно, вероятнее всего, связать с процессами обучения. Далее, в модели имеются элементы для суммирования сигналов, инерционные системы и нелинейные системы, позволяющие генерировать ряды сигналов, когда суммарный стимул превысит некоторое пороговое значение. Исследование сетей, состоящих из подобных элементов, приводит к ряду интересных проблем. Возьмем, например, такой вопрос: нужно ли строить счетные машины из очень большого количества очень простых элементов или же экономичней будет использовать меньшее количество более сложных систем? Существует гипотеза, по которой для обширного класса систем управления и регулирования, в которых имеется иерархия явлений в пространстве и времени, оптимальным элементом является именно модель нейрона.

Итак, одна из перспектив исследований по бионике — это конструирование счетных машин нового типа с использованием нейроноподобных сетей. Эта гипотеза частично подтверждается в конструкции перцептронов, т. е. систем, обучающихся распознаванию образов. Основным структурным элементом перцептрона является, как правило, модель нейрона, у которой величины на входе подбираются в процессе обучения так, чтобы система совершала постепенно все меньше ошибок и при классификации определенного типа образов. Впрочем, результаты новых нейрофизиологических исследований, касающихся зрительного восприятия, особенно движущихся изображений, приведут, вероятно, к дальнейшему развитию конструкции перцептронов.

Одним из важнейших свойств нервной системы, вызывающих все больший интерес у техников, особенно у специалистов по теории систем, является ее пластичность и вытекающая отсюда возможность обучения. Несколько раньше приводились примеры применения систем высшего порядка. Во всех этих системах существенную роль играют процессы обучения, либо учитываемые в фазе проектирования, либо происходящие во время нормальной работы системы. Если говорить очень упрощенно, то, как и в развивающемся мозге, здесь есть возможность передать часть работы проектанта учителю, руководящему процессом обучения. В ходе этого процесса устанавливаются такие параметры системы, которые должны обеспечить ее оптимальную или субоптимальную работу.

В качестве последнего примера систем, которые строятся и, вероятно, еще долго будут строиться на основе аналогий с действием биологических элементов, приведу роботов, функционирующих в изменяющейся среде.

Наблюдая точность и изящество, с которыми движутся животные и человек — спортсмен или танцор, мы не всегда отдаем себе отчет в том, что в выработке системы сигналов, управляющих пространственно-временной последовательностью сокращения различных мышц, участвует очень много центров нервной системы. Можно сказать, что о принципах действия двигательной системы мы знаем и очень много и очень мало. Нам известно, что она построена иерархически и связана с другими мозговыми центрами, особенно с центрами восприятия, знаем о главных функциях различных двигательных центров, довольно хорошо знаем функцию, а в определенной степени и динамику низшей ступени управления мускулами, куда входит несколько контуров обратной связи. Но всего этого недостаточно, чтобы построить модель управления более сложным движением; и потому, как и следует из вступительных рассуждений, мы еще не можем сказать, что разбираемся в работе двигательной системы. С другой стороны, именно на этом примере особенно хорошо видно, что дополнение нейрофизиологических экспериментов исследованиями на моделях является одним из условий успеха в понимании двигательных функций мозга и в конструировании все более совершенных устройств, заменяющих человека везде, где мы хотим, чтобы нас заменили.

ТВОРЧЕСТВО И КИБЕРНЕТИКА

МОДЕЛИРОВАНИЕ В МУЗЫКЕ

Р. Х. ЗАРИПОВ

Пожалуй, ни одна из областей применения кибернетики не привлекает такого широкого интереса, не вызывает столько ожесточенных споров и разноречивых мнений, как вопросы взаимосвязей кибернетики и искусства. Большой интерес к этим вопросам вызван, кроме всего прочего, и кажущейся простотой проблемы — многие уверены, что для оценки результатов «машинного художественного творчества» не требуется специальных знаний. На самом же деле все оказывается гораздо более сложным.

Непонимание существа проблемы, поверхностное отношение к оценке образцов машинного творчества часто приводит к недоразумениям и казусам. Особенно наглядно это проявляется при сравнении образцов машинного и человеческого творчества.

О моделировании творчества на ЭВМ

С появлением электронных вычислительных машин возник и новый объективный метод изучения творчества — моделирование на вычислительной машине.

Моделирование — это искусственное воспроизведение, или имитация, объекта исследования (процесса или состояния), точнее тех его сторон, закономерности которых интересуют исследователя. Необходимость искусственного воспроизведения объекта при моделировании приводит к осознанию его существенных черт и способствует изучению этого объекта.

Весьма привлекательным является моделирование на машине различных видов художественного творчества, например, таких, как живопись или танец, сочинение стихов или музыки. Подобные эксперименты способствуют раскрытию природы интуиции — объективно существующей неосознанной, нескрытой закономерности, важного фактора любого творческого процесса.

Изучение и выявление общих закономерностей творчества возможно на разных объектах. Важно, чтобы результаты, полученные при моделировании, были наглядными, в определенном смысле похожими на соответствующие по форме образцы человеческого творчества и вызывали бы те же реакции, что и при восприятии результатов человеческого творчества.

Идеальный объект для исследований такого рода — музыка.

Музыка обладает особенностью, которая с точки зрения возможности моделирования выгодно отличает ее от других видов искусства. Музыка в определенном смысле относится к выразительным, а не к изобразительным видам искусства. Музыкальное произведение отражает действительность отвлеченно от точного изображения ее конкретных внешних признаков. Это обстоятельство, по-видимому, и облегчает моделирование музыкальных сочинений на машине. Последнее следует понимать в том смысле, что при моделировании простых форм музыкального творчества полученные результаты сравнимы с сочинениями композиторов-профессионалов и по массовым оценкам слушателей не отличимы от них. Результаты же моделирования на машине других видов художественного творчества (например, танца, стихосложения или живописи в доступных и привычных массовому слушателю или зрителю формах) являются или менее наглядными при восприятии их и сравнении с человеческими образцами, или требуют специальных знаний и опыта при их анализе и оценке.

Применение ЭВМ в музыке

Исследования в музыке с использованием вычислительных машин проводятся у нас и за рубежом по следующим четырем направлениям.

1. Построение специальных языков программирования для ввода, обработки данных (например, анализа) и вывода музыкальной информации, а также для составления программ.
2. Анализ музыкальных произведений (музыковедческий анализ, сравнение музыкальных стилей и др.) для выявления внутренних формальных (преимущественно статистических) связей элементов композиции. Американским математиком и музыкантом М. Касслером построен алгоритм для распознавания додекафонных мелодий.

В рамках этого направления интересна задача определения параметров, которые при переходе от одного музыкального стиля (или эпохи) к другому изменяются, а в пределах каждого стиля остаются неизменными или изменяются незначительно.

Так, в работах западногерманского физика В. Фукса были найдены музыкальные параметры, характеризующие развитие некоторых формальных качеств структуры западной музыки на протяжении последних пяти веков.

3. Звуковоспроизведение на ЭВМ со звуковым выходом для синтеза тембров, имитирующих звучание как классических музыкальных инструментов, так и новых, неизвестных практике. Это, в частности, позволяет исследовать некоторые вопросы психологии восприятия.

К этому же направлению относятся опыты, связанные с так называемой проблемой пианолы — использованием ЭВМ для воспроизводства последовательности звуков, записанных в виде нот. Такие опыты основаны на следующей идее. Нотная запись музыкального произведения — это система указаний для музыканта, обозначающая прежде всего высоту, длительность и силу каждой ноты. Она также содержит указания о тембре (инструменте) и различные исполнительские или динамические указания. Иначе говоря, ноты — это алгоритм, или программа действий, которой музыкант руководствуется при исполнении.

Следовательно, подобную «программу» можно задать машине со звуковым выходом. Управляя работой цифро-звукового преобразователя, машина по соответствующей программе синтезирует звуки, отвечающие нотам, записанным в числовом коде, т. е. «играет» по нотам. Машина может имитировать многоголосное и многотембровое звучание оркестра.

Интересно, что если до сих пор исполнительские возможности известных музыкальных инструментов были ограничены физическими и механическими факторами, то машина в качестве музыкального инструмента и исполнителя преодолевает такие ограничения.

Следует заметить, что все работы этого направления до сих пор находятся на уровне лишь механического воспроизведения нотной записи, к которому, разумеется, не сводится музыкальное исполнение.

4. Опыты по синтезированию музыкальных композиций на ЭВМ проводятся для выявления и подтверждения в них скрытых закономерностей, которые в процессе сочинения человеком обычно используются неосознанно, интуитивно.

Машина может быть также полезна композитору для производства «заготовок» — черновых вариантов различных звуковых сочетаний. Особенно удобным оказалось это при сочинении музыки «нетрадиционной структуры». Из множества таких «заготовок» композитор по своему усмотрению (уже без машины) выбирает наиболее подходящие варианты и включает их в свое произведение. Это — пример *человеко-машинной системы* в музыке, которая уже используется на практике, особенно зарубежными композиторами (машинные заготовки можно использовать и для сочинения музыки традиционной структуры, как это делает итальянский кибернетик и музыкант Э. Гальярдо).

В дальнейшем мы будем рассматривать моделирование музыкальных сочинений на ЭВМ; при этом машина сочиняет законченную композицию уже без вмешательства человека в самый процесс сочинения.

Человеко-машинная система и моделирование — это две основные ветви проблемы построения искусственного интеллекта — научного направления, широко развивающегося в последние годы как в нашей стране, так и за рубежом.

Известны два различных метода моделирования музыкальных сочинений на ЭВМ.

а) Один основан на принципе лишь локальной взаимосвязи звуков. Этим методом синтезируются только одноголосные композиции. В его основе лежит принцип построения марковских цепей, предложенный в 1913 г. русским математиком А. А. Марковым для исследования стихотворных текстов. При этом предполагается, что количество соседних взаимосвязанных нот, зависящих друг от друга статистически, невелико. В опытах разных авторов это количество различно и принимает значения 0, 1, ..., 7. Весьма привлекательный по форме, этот способ, основанный лишь на локальной взаимосвязи звуков мелодии, не дает, да и не может дать хороших результатов. Именно об этом методе писал А. Н. Колмогоров в статье «Автоматы и жизнь», приводя «пример упрощенного подхода к проблемам кибернетики» в области «машинного сочинения музыки». Дело в том, что здесь не учитываются важные специфические стороны музыки. Примерами могут служить ладогармоническая — направленная на организацию устойчивых и неустойчивых звуков лада, структурная — для организации в мелодии повторности ритмических и мелодических фигур, а также расчленения мелодии на отдельные построения (предложения, фразы, мотивы). Закономерности этих сторон при восприятии музыки способствуют лучшему усвоению различных интонаций, тем. И эти закономерности являются более важными, более характерными для музыки, чем локальные связи. Особенно наглядно все это проявляется в тех работах по моделированию музыки определенного стиля, где наряду с мелодиями, полученными машиной этим методом, приводятся для сравнения мелодии, взятые первоначально для анализа. Самими этими работами подтверждается (разумеется, без намерения их авторов), что в мелодии практически взаимосвязаны все ноты, а не только несколько соседних.

Кроме того, при этом не выявляются взаимосвязи между различными элементами музыкальных сочинений, а также наличие и формализация принципов, правил и закономерностей композиций. А это обстоятельство является наиболее важным как для теоретического музыковедения, так и для осознания интуитивной деятельности.

б) Более перспективным представляется другой метод, условно назовем его структурным. Он основан на программировании правил и закономерностей композиций, которые удалось выявить.

Как машина сочиняет музыку

В последующих разделах статьи рассмотрен разработанный автором способ организации алгоритмов и «структурный» метод моделирования некоторых функций композитора и музыковеда. Составлены различные программы, по которым работает вычислительная машина. Так, машина сочиняет мелодии — одноголосные музыкальные композиции. Можно ввести в машину ритм стихотворения — последовательность ударных и безударных слогов, и она напишет мелодию к этому стихотворению — получится песня. Машина имитирует и некоторую учебную работу студентов музыкальных училищ или консерваторий — она решает задачи по гармонизации мелодий (и без ошибок). А студенты в таких задачах делают ошибки. И если машине дать это решение задачи по гармонизации, она укажет там все ошибки. Такая программа выполняет функции экзаменатора и является прототипом обучающей системы¹. Кроме того, машина сочиняет одноголосные вариации на заданную музыкальную тему.

Для проведения экспериментов по моделированию различных видов творчества одним из наиболее важных является вопрос организации программы. Основное назначение такой программы, по-видимому, не серийное производство машинной музыки, а экспериментирование, постоянное ее совершенствование. Поэтому один из аспектов этого вопроса — удобство обращения с программой, возможность вводить в нее некоторые изменения, формировать ее, управлять ею. Иначе говоря, программа должна быть гибкой в обращении, чтобы можно было проводить эксперименты разного рода. И структура алгоритма должна это учитывать.

Принцип алгоритмизации музыкальных сочинений заключается в следующем.

Выбор различных элементов композиции (нота, аккорд, тип структуры, закон случайного распределения длительностей или интервалов и т. п.) происходит с помощью датчика случайных чисел посредством соответствующего способа кодирования.

Синтезирование композиции происходит так. Имеется набор запрограммированных правил композиции. Датчик случайных чисел предлагает одну ноту за другой. Если нота удовлетворяет набору правил, то она помещается в нотную строку. В противном случае нота отбрасывается, и вместо нее предлагается другая. И так до тех пор, пока не будет получена законченная композиция, которая и печатается в закодированном виде.

Теперь рассмотрим способ организации алгоритма. Любая музыкальная композиция как в синтаксическом, так и в семантическом отношении характеризуется некоторым набором параметров, отражающих правила, закономерности и элементы ее строения и развития. Параметром может быть диапазон мелодии, тактовый размер, распределение частот интервалов, количество ступеней в октаве и др. Каждый параметр принимает по нескольку значений. Значение параметра — это определенное число или числовая структура, конкретный закон распределения частот интервала, набор аккордов и т. п. из множества допустимых в программе.

Под типом композиции понимается определенный признак, особенность или качество музыки, присущие некоторой совокупности композиций (стиль, жанр, эмоциональная направленность и т. п.). Типом может быть «танцевальная музыка», «вальс», «вальс Штрауса», «широта», «напевность», «вариационность» и т. п.

Моделирование основано на предположении, что любой тип (признак) композиции характеризуется определенным набором значений параметров из множества допустимых.

Таким образом, качественной характеристике композиции (тип) ставится в соответствие характеристика формально-количественная (набор значений параметров). В соответствии с этим для моделирования композиций определенного типа в определенные ячейки машинной памяти засылаются некоторые числа — коды значений параметров. Этим самым машине задается определенный перечень правил, которые должны содержаться в будущей композиции. Указанными кодами автоматически «настраивается», или формируется, программа. При этом из всех запрограммированных значений каждого параметра выбирается одно заданное. Если же значение какого-то параметра не было задано, то при формировании программы оно выбирается из множества запрограммированных значений случайным образом — посредством датчика случайных чисел.

Отсюда видно, что в синтезировании композиции участвуют не все запрограммированные правила, а лишь их часть. Эта часть и указывается набором параметров, определяющим тип композиции. Программы, составленные из основе этого принципа, служат иллюстрацией того, как количество (набор значений параметров) переходит в качество (тип музыки).

Вместе с машинной композицией печатается и перечень тех закономерностей, которые участвовали в ее сочинении, т. е. указывается ее структура. Это позволяет проводить различные психологические эксперименты, например, по восприятию музыки. На основе этого метода можно найти зависимость между структурой музыки и ее воздействием на эмоциональное состояние слушателя.

Метод может быть полезен и при анализе музыкальных сочинений, когда требуется восстановить механизм создания композиций некоторого типа. В этом случае прямой анализ данной музыки заменяется формальным анализом синтезированной (машинной) музыки, близкой по типу к данной.

Как оценивать машинную музыку

Цель экспериментов — не создание музыкальных сочинений, а, как уже говорилось, исследование закономерностей творчества.

В процессе анализа изучаемых явлений обычно возникают различные гипотезы, предположения о закономерностях этих явлений. И моделирование на ЭВМ — это могучий метод подтверждения таких гипотез. При моделировании музыки на машине обязательно получается машинная музыка, хотим мы этого или нет — в этом сущность метода моделирования. Машинные композиции служат как бы «отходами производства». Но это такие «отходы», что о них следует поговорить особо.

Дело в том, что критерием качества и совершенства программы, по которой машина работает и сочиняет музыку, является степень близости машинной музыки к той человеческой, которую мы изучаем. Здесь важно не абсолютное качество машинной музыки, а то, чтобы она была очень похожей на исследуемую нами. В этом смысле большая роль в изучении закономерностей композиции и музыкального творчества принадлежит машине-плагиатору, моделирующей сколь угодно точно указанные ей типы композиции — авторские стили, жанры, особенности народной музыки и т. п. Создание такой машины или, точнее, программы определило бы степень изученности творчества, тот его уровень, который машина на данном этапе в состоянии воспроизводить. И машинные композиции служат критерием того, насколько глубоко изучен и описан формальным, объективным языком механизм творческой деятельности.

Однако здесь возникает проблема оценки машинных композиций и сравнения их с сочинениями композиторов. Они оцениваются лишь в результате прослушивания. Проблема эта связана с особенностями психологии слушателей. Поэтому для объективного сравнения музыки, сочиненной человеком и машиной, необходим специальный эксперимент. Цель его — преодолеть психологическую предвзятость слушателей. Надо сделать так, чтобы заранее они не знали, что оценивают — машинную или человеческую музыку. Кроме того, эксперимент должен дать и объективную оценку машинных композиций, сравнительную с человеческими, т. е. показать уровень их качества.

Какую же музыку следует брать для сравнения с машинными, мелодиями? Вещи несоизмеримые, несравнимые между собой сравнивать нельзя, например мелодии песен с монументальными концертными произведениями вроде симфоний. Сравнивать надо композиции одинакового объема, одинаковой структуры, одинаковой синтаксической сложности.

Для эксперимента было выбрано восемь мелодий песен известных советских композиторов, взятых из опубликованных сборников избранных песен, и столько же мелодий, сочиненных машиной «Урал-2». Все эти мелодии проигрывались в произвольном порядке, неизвестном слушателям. Слушатели должны были каждую из них оценить по пятибалльной системе и оценки записать на бланках. Чтобы исключить элементы случайности, эксперимент должен был быть массовым.

Было выбрано несколько различных социомузыкальных групп, в каждой из которых уровень музыкальной подготовленности участников был примерно одинаков. Это — студенты Московского энергетического института, студенты Музыкально-педагогического института имени Гнесиных, участники заседания симпозиума «Проблемы художественного восприятия» (заседание было посвящено вопросам восприятия музыки), школьники старших классов, математики — участники методологического семинара Математического института АН СССР имени В. А. Стеклова и Вычислительного центра АН СССР, артисты Большого театра, работники предприятий культуры и др. Всего в эксперименте участвовало более 600 человек.

Кроме того, подобный эксперимент был проведен на основе передач по первой программе Всесоюзного радио 25 августа 1973 г. и 29 июня 1976 г.

При обработке результатов эксперимента были получены различные характеристики. Как и во всяком конкретно-социологическом исследовании, выводы делались на основе усредненных оценок.

Методика проведения эксперимента себя оправдала и позволила преодолеть психологическую предвзятость, о которой говорилось выше. Слушатели не различали, где человеческое, а где машинное, хотя часто были уверены в обратном. Так, один участник написал на бланке: «Вся машинная музыка — не музыка, нет чувства...» Однако он, не осознавая этого, предпочел человеческим мелодиям машинные, о чем красноречиво говорит таблица его оценок:

	Оценка	5	4	3
	Машина	2	3	3
Автор	Композитор	0	1	7

В результате эксперимента выяснилось, что во всех группах машинные композиции получили по разным критериям более высокую оценку, чем мелодии композиторов. Вот, например, как были оценены в 70 протоколах мелодии такой музыкально подготовленной аудитории, как студенты Института имени Гнесиных:

	Оценка	5	4	3	2	1	
	Машина	76	253	204	22	5	$S_M=3,67$
Автор	Композитор	61	213	247	31	8	$S_K=3,51$

Таблица показывает, сколько различных оценок (5, 4, 3, 2, 1) получили мелодии, сочиненные машиной и композиторами (S_M и S_K - соответствующие средние оценки за мелодии).

Результаты эксперимента, проведенного многократно и даже с музыкально подготовленным составом участников, подтверждают, что при моделировании на ЭВМ простых форм музыкального творчества (мелодий песен или танцев) получены такие машинные результаты, которые не только соизмеримы с человеческими, но в ряде случаев и превосходят последние по качеству.

Важно отметить, что мелодии композиторов в эксперименте (независимо от их качества или отношения к ним со стороны слушателей) — это результат той профессиональной деятельности человека, которую принято называть творчеством. И если мелодии композиторов причисляются к произведениям искусства, то логично и машинные сочинения, получившие во время этого эксперимента более высокую оценку слушателей, также считать произведениями искусства.

Читатель, знакомый с книгой А. Тьюринга «Может ли машина мыслить?» (М., Физматгиз, 1960), заметит, что проведение описанного эксперимента — это развитие и реализация идеи А. Тьюринга об «игре в имитацию» («тест Тьюринга») применительно к музыке. Как известно, «тест Тьюринга» предназначен для того, чтобы судить о наличии «интеллекта» по результатам «игры в имитацию», которая сводится к следующему. В игре участвуют некое лицо (эксперт) и две системы A и B , одна из которых — человек, а другая — машина. Эксперт задает любые вопросы системам A и B и, анализируя их ответы, должен определить, какая из них является машиной. Если он не сможет определить этого в течение заданного времени, то такая машина считается «интеллектуальной».

Из результата нашего эксперимента следует, что программа-композитор, синтезирующая эти мелодии, выдерживает «тест Тьюринга».

Машина-плагиатор

При моделировании композиций определенного типа получаются мелодии разные, но обладающие каким-то общим признаком. На этом этапе моделирования подтверждаются общие закономерности данного типа композиций. Следующим этапом в углублении и совершенствовании наших знаний о закономерностях музыки является построение такой программы, по которой машина сочиняет мелодии, в точности совпадающие с исследуемой композицией.

В этой связи особый интерес представляет то, что называется заимствованием в музыке. Заимствование и последующая творческая обработка — трансформация (варьирование) музыкальных тем — при сочинении музыкальных произведений не являются плагиатом в широком понимании этого слова — многие композиторы сознательно использовали в своих сочинениях известные мелодии, большей частью народных песен, например, мотив «Чижика-пыжика» в арии царя Додона из оперы Римского-Корсакова «Золотой петушок» или тема «Во поле береза стояла» в финале Четвертой симфонии Чайковского. Имеются примеры и неосознанного заимствования известных тем в творчестве композиторов.

Один из наиболее ярких примеров такого рода — сочинение П. И. Чайковским темы «рококо» для своих знаменитых виолончельных вариаций. В книге А. Будяковского «П. И. Чайковский. Симфоническая музыка» (Л., 1935) приводится разговор между композитором и его другом виолончелистом В. Фитценгагеном: «Знаешь ли ты, что такое рококо?» — спросил однажды Петр Ильич. Фитценгаген кивнул головой. Пауза. «Я думаю, — сказал Чайковский, — это легкая, безмятежная радостность (schwebende Heiterkeit)...» И он напел про себя небольшую мелодию вроде гавота.



Рис. 1.

Поразительные ассоциации — «легкая, безмятежная радостность»: ведь в сознании композитора в это время перевоплощалась в стиле «рококо» мелодия безмятежно-раздольной русской народной песни «Вдоль по Питерской». В том, что тема «рококо» возникла из этой мелодии, можно убедиться при визуальном сравнении обеих мелодий: на рис. 1 видно совпадение высот, отмеченных волнистой линией, и ритмических акцентов. Но то, что видит глаз, не всегда слышит ухо, и при прослушивании этих мелодий нелегко уловить сходство.

Слушая тему и вариацию, мы зачастую интуитивно ощущаем их общность и связь между собой. Это происходит



Рис. 2.

благодаря сохранению в вариации неизменных элементов — инвариантов преобразования. Однако они сильно маскируются в вариации другими элементами — изменением ритма, тактового размера, ладотональности и самой мелодической линии. Эти маскирующие элементы часто изменяют тему до неузнаваемости.

На рис. 2 приведены мелодии двух русских народных песен (№ 10 — «Чижик-пыжик» и № 20 — «По Дону гуляет казак молодой») и их вариации («№ 11, 12, 13 и 21, 22, 23»), сочиненные машиной БЭСМ-6 Вычислительного центра АН СССР. Нетрудно заметить,

что вариация № 21 в точности совпадает с мелодией Дунаевского «Молодежная» из кинофильма «Волга-Волга» (кроме 1-й ноты последнего такта). Машинное варьирование позволяет шаг за шагом проследить весь путь преобразования заданной темы в искомую вариацию.

Что же дальше?

О перспективах использования машин в музыке можно много и увлекательно фантазировать. Мы же рассмотрим лишь некоторые вопросы, практическое разрешение которых возможно в недалеком будущем.

Работы по использованию ЭВМ в музыке ведутся в разных направлениях, хотя полученные результаты практически почти не применяются. Препятствуют этому трудности не принципиального, а лишь технического характера. Не осуществлен пока переход от лабораторного эксперимента к практическому использованию работ. Но недалек день, когда ЭВМ будет необходимым учебным «пособием» в консерватории (как сегодня она необходима во многих технических институтах), скажем, для проверки решений учебных задач по гармонизации или для сочинения фуг.

Студентам-музыкантам непривычна закодированная запись нот в виде чисел. Но уже имеются на ЭВМ, выходные устройства, способные печатать результаты в виде графиков или нот. Если к этому добавить устройства, автоматически считывающие ноты, то будет практически решена важная проблема машинной переписки нот.

Выше говорилось о программе, сочиняющей вариации на заданную тему. Весьма привлекательно решение обратной задачи — выделение первоначальной «темы» из заданной мелодии: своего рода «упрощение» мелодии либо отыскание ее прототипа, установление факта заимствования темы (подобно тому, как на основе гармонизирующей программы была составлена программа-экзаменатор для анализа гармонизаций и отыскания в них ошибок).

Первый вариант задачи более прост в силу своей неоднозначности. А для осуществления второго требуется не только грандиозная машинная память — вместилище для огромного набора мелодий-прототипов, но и экономный по времени способ сравнения мелодий (подобный тому, каким интуитивно пользуется человек при узнавании мелодии).

Такая проблема возникает при разрешении различных задач, связанных с выборкой из памяти. Так, построение шахматной программы «на уровне гроссмейстера», о которой сейчас много говорят, немыслимо без учета прошлого опыта. Ведь при обдумывании очередного хода в памяти гроссмейстера всплывают подобные позиции, выбранные (по-видимому, большей частью неосознанно) из огромного множества партий, сыгранных не только им, но и другими шахматистами. И хорошая шахматная программа должна не только хранить в памяти множество этих партий, но и (в этом главная трудность) уметь быстро выбрать вполне определенную партию, соответствующую данной позиции.

Решение проблемы идентификации мелодий нужно, конечно, не для «разоблачения» композиторов и установления «плагиата» (это будут опять-таки неизбежные «отходы производства»), а для построения каталога мелодий и их разновидностей, составления «словаря» музыкальных тем и разрешения других вопросов, связанных с созданием музыкальной библиотеки будущего.

Рассмотрим перспективы звуковоспроизведения на ЭВМ. Моделирование многоголосного и многотембрового звучания оркестра поможет композиторам при сочинении оркестровых произведений, при прослушивании, скажем, черновых набросков симфонической музыки, где используются новые, оригинальные тембровые сочетания. Ведь в процессе сочинения не все композиторы способны слышать свои творения в оркестровом звучании. А недочеты, обнаруженные при прослушивании уже законченного произведения в исполнении симфонического оркестра, исправить почти невозможно.

Чрезвычайно интересной областью исследования является моделирование творческого процесса музыкального исполнения. Задача заключается в выявлении особенностей исполнительской манеры того или другого музыканта, поскольку музыкальное исполнение не сводится лишь к механическому воспроизведению нотной записи. При прослушивании интуитивно мы чувствуем различие в исполнительской манере музыкантов. Так, своеобразную манеру игры Даниила Шафрана трудно спутать с манерой игры другого виолончелиста. Но если есть интуиция, то имеются и закономерности, которые можно выявить.

А для проверки предположений об этих закономерностях можно воспользоваться тем же методом подтверждения гипотез — моделированием процесса исполнения на ЭВМ.

Практически важной является и проблема объективной оценки исполнения. Вот мнение известного пианиста и педагога Г. Г. Нейгауза. В статье, посвященной подготовке к Международному конкурсу имени П. И. Чайковского в 1962 г., он писал: «Быть может, в наш век кибернетики недалек тот день, когда главную роль в суждениях и оценках исполнительских достижений на конкурсах будут выполнять высокоорганизованные... электронно-счетные машины, конечно, при содействии и соучастии людей — музыкантов... Между прочим, я ожидаю от этих будущих машин той *точности и безошибочности*, на которую люди неспособны».

При обсуждении перспектив сочинения музыки на вычислительных машинах часто высказывается мнение, что машина может лишь имитировать уже известные музыкальные структуры, авторские стили. Допускается даже, что машина сможет настолько изучить и усвоить стили известных композиторов, что сможет точно подражать музыке любого из них. Но машина, дескать, будет лишь «хорошим ремесленником» и не более — она не сможет создать ничего нового, оригинального или, условно говоря, «предвосхитить творчество будущих композиторов». Ошибочность подобных мнений заключается в том, что не учитываются возможности некоторых классов разрабатываемых программ, по которым работает машина. Вот, например, каким образом, используя описанный выше способ организации алгоритма, машина может «выйти за рамки» заранее заданных правил. Множество значений какого-то параметра, полученное заранее, можно дополнить при синтезировании новыми значениями, не обнаруженными при анализе и, следовательно, не включенными в программу. Полученные композиции могут существенно отличаться от проанализированных и будут содержать закономерности, не предусмотренные заранее.

Чтобы пояснить это, для наглядности рассмотрим простые примеры параметров с такими множествами значений — первоначальными и дополненными, которые приводят к известным в музыкальной практике структурам. Предположим, что в результате анализа обнаружен параметр «тактовый размер» и найдены два его значения: $\frac{2}{4}$ и $\frac{4}{4}$. Допустим, что при синтезировании композиций это множество значений дополнено (машиной) каким-либо образом еще одним значением — $\frac{3}{4}$ и состоит уже из трех элементов: $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{4}$. Тогда синтезированные композиции также будут трех размеров: $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{4}$. При этом

важно заметить, что заранее размер $\frac{3}{4}$ не был выявлен и введен в программу. Однако известно, что музыку на $\frac{3}{4}$, образуя новую структуру, при восприятии на слух существенно отличается по своему эмоциональному характеру от музыки на $\frac{2}{4}$ или $\frac{4}{4}$, как, например, вальс или мазурка отличаются от марша или чарльстона.

Отсюда видно, что к образованию новых синтаксических структур, новых правил и закономерностей может привести лишь одно расширение множества значений первоначально заданных параметров. И параметры могут быть самые разнообразные: «количество нот такта», «количество ступеней в октаве» и многие другие. Напомним, что для параметра «количество ступеней в октаве» значение 5 соответствует пентатонике (корейская, татарская, венгерская и т. п. музыка), значение 7 — диатонике (распространенная у нас музыка), а 12 — атональной музыке, в частности додекафонии. А эти три типа структурной организации музыкальных звуков, как известно, при восприятии производят совершенно различный эффект.

Приведенные примеры показывают возможность (принципиальную и практическую) расширить множество классов композиций, взятое первоначально для анализа, даже «в рамках правил», заданных заранее. А именно это и доказывает, что машина способна не только имитировать уже известные сочинения, но и создавать новые музыкальные структуры, «предвосхищать стиль будущих композиторов».

Машина может быть полезной для обработки и реализации музыкальных идей композитора (при сочинении различных вариантов композиции, из которых окончательный вариант он отберет по своему вкусу), и, возможно, в не столь отдаленном будущем машина сумеет сочинять и сами музыкальные идеи. Не рассматривая этого вопроса, заметим, что более важной и значительно более сложной задачей является не создание новых стилей, а отбор стилей перспективных. Кстати, подобная задача возникает и в других областях кибернетики, например при оценке теорем.

И здесь мы подходим к той проблеме, которую условно можно назвать «проблемой шедевра», т. е. к проблеме создания перспективного произведения, которое намного переживает своего творца. Но это уже не техническая проблема, ибо музыкальный шедевр отбирается не композитором, а, говоря образно, временем.

Вспомним Сальери, выдающегося музыканта своего времени — композитора и педагога. Его учениками были Бетховен, Лист, Шуберт и многие другие знаменитые музыканты. Музыка его была, пожалуй, не менее популярна, чем музыка Моцарта, а его оперы шли на сценах многих европейских театров. Казалось бы, все предвещало ему бессмертную славу великого композитора. Но время рассудило иначе — вряд ли вы где-нибудь услышите сейчас музыку Сальери, и даже имя его упоминается обычно лишь в связи с известной легендой.

ПОЛЕМИКА И ЕЕ ИЗДЕРЖКИ

(ПО ПОВОДУ СПОРА «МАШИНА И ТВОРЧЕСТВО») И. ГРЕКОВА

Может ли машина мыслить? Способна ли машина к самостоятельному творчеству?

Споры на эту тему стали уже привычными. Время от времени они затухают и возникают снова. Ну что же, в этом ничего плохого нет. Рассуждения о возможности «машинного мышления» дают повод лишней раз задуматься о том, что такое интеллектуальный процесс. Но при этом очень важно освободиться от привычных мнений и преодолеть тривиальность распространенных стереотипов. Может быть, поэтому интересно разобраться в содержании ведущихся на эту тему горячих споров. Как правило, такие дебаты ничем не кончаются: обе стороны выходят из этих словесных стычек еще больше, если это возможно, убежденными каждая в своей правоте.

В чем же все-таки дело и о чем спор?

С первого взгляда он может показаться беспредметным, надуманным. Самая форма вопроса подозрительно напоминает известную средневековую формулу: «Может ли всемогущий бог создать такой тяжелый камень, которого сам поднять не может?» По этому вопросу в свое время велись оживленные диспуты.

Многим кажется, что причина спора в недостаточной определенности понятий, о которых идет речь: стоит людям по-хорошему договориться, что такое «машина» и что такое «творчество», как все станет ясно.

Однако дело тут вовсе не в определениях. Когда речь идет о широко известных и часто употребляемых понятиях, точные словесные формулировки мало чем могут помочь. Возьмем, например, определение слова «стол» в толковом словаре русского языка: «предмет мебели в виде широкой горизонтальной доски на высоких опорах, ножках». Вряд ли такое определение способно уточнить или обогатить наше представление о столе. И вообще живое содержание понятия формируется обычно не его определением, а всем опытом общественной жизни и практической деятельности людей, всей системой ассоциаций, образов, аналогий и даже эмоций, связанных с тем или иным предметом или явлением. Коротко можно всю эту систему назвать «ассоциативной базой» понятия.

Возникает вопрос: но ведь содержание памяти и запас представлений у разных людей различны? Значит, и смыслы понятий не могут для них быть одинаковыми?

Именно так! Нет и не было двух людей, которые вкладывали бы в одно и то же понятие в точности один и тот же смысл. Речь может идти только о приближенном (в общих чертах) совпадении смыслов. Такое совпадение встречается, когда мы наблюдаем группу людей с примерно одинаковой психологией, общей культурой, общим запасом сведений. Если же общей ассоциативной базы нет, люди могут понимать под одними и теми же словами совсем разные вещи.

Так, по-видимому, обстоит дело и в спорах о «машинном творчестве». Недаром в них обычно скрещивают оружие представители двух типов мышления: гуманитарного и инженерно-математического. Внешне в этих спорах сталкиваются готовые, законченные мнения, по существу же противоречат друг другу породившие их ассоциативные базы.

В процессе исторического развития общества понятия тоже не остаются неизменными: они развиваются, наполняясь новым содержанием, или отмирают. Возьмем, к примеру, понятие «машина» — ясно, что смысл и содержание этого понятия для нас совершенно иные, чем для людей прошлого века. То же самое на наших глазах произошло с понятием «космос» — вместо туманных философских отвлеченностей возникли вполне конкретные, земные ассоциации.

Итак, смыслы слов, выражений, понятий в процессе исторического развития неизбежно меняются. И, естественно, приоритет в овладении понятиями принадлежит тем, кто чаще с ними сталкивается, кто непосредственно с ними работает. «Доказательство пудинга в том, что его съедают» — гласит английская поговорка. Нет сомнения — инженер или математик вкладывает в понятие «машина» или «автомат» более адекватное, более богатое, более современное содержание, чем, скажем, литературовед или историк. С другой стороны, несомненно (хотя и менее очевидно), что и представитель гуманитарной науки имеет перед инженером или математиком некоторое преимущество: содержание понятий «мышление», «творчество» у него более богатое — гуманитарий о них больше думает и чаще пользуется ими.

И если мы зачастую встречаемся с узким, однобоким и устаревшим представлением о «машине» в гуманитарной среде, то нередко встречается и среди инженеров поверхностное, нигилистическое, обедненное отношение к понятию «творчество». Первые (кстати, весьма скромные) успехи машин в моделировании отдельных творческих функций человека некоторые энтузиасты машинной техники спешат объявить полноценными образцами такой деятельности, чуть ли не отменяющими надобность в человеке как творце и организаторе. Именно такие горе-энтузиасты с их лозунгом немедленной математизации и автоматизации всех видов умственной деятельности человека повинны во многих недоразумениях, возникающих вокруг проблемы «машина и творчество».

Естественно, когда спор ведется без взаимного понимания, он бесперспективен. Единственным путем к установлению если не истины, то хотя бы доступного в настоящее время приближения к ней может стать расширение и обогащение ассоциативной базы понятий, причем не для одной, а непременно для обеих сторон. Речь идет не о том, чтобы (как думают некоторые) растолковать «отсталым гуманитариям», что такое современная машина, а о том, чтобы по возможности спорить об одном и том же без полемических переხлестов и взаимных обвинений. Надо попробовать разобраться в корнях разногласий, сблизить точки зрения на основе взаимного понимания. Гораздо полезнее понять, в чем права противная сторона, а не в чем она ошибается.

Итак, вернемся к предмету спора. Вопрос, поставленный нами сначала в наивной форме: «Способна ли машина к творчеству?», — можно развернуть несколько подробнее и строже, например в следующем виде: представляет ли собой мышление, творчество и т. п. исключительную прерогативу человеческого мозга или же в принципе возможно существование мыслящей материи в иных формах, например в виде искусственных созданий человека?

Возникновение такого вопроса в наше время вполне естественно. Машины (или, как ученые предпочитают говорить, автоматы) за последние годы с фантастической быстротой стали овладевать рядом функций, которые от века представляли собой прерогативу человека, относились к его умственной, творческой деятельности. Современные машины управляют производственными процессами, боевыми действиями, конструируют технические устройства, несут диспетчерскую службу, играют в шашки, шахматы и другие игры, выводят формулы и теоремы, «сочиняют» стихи и музыку. Машины привлекаются к учебному процессу в качестве «репетиторов» и «экзаменаторов». Ведутся работы в области машинного перевода, машинного реферирования научных статей и т. п. В будущем, без сомнения, возможности машин будут расти, а сфера их деятельности расширяться. Значит ли это, что машине доступны мыслительные функции человека? Значит ли это, что машина способна «творить» в подлинном смысле слова?

На этот вопрос разные специалисты отвечают по-разному.

Например, К. Штейнбух дает определенно положительный ответ. Да, утверждает он, машины и вообще искусственные создания человека способны к мыслительной деятельности. Представление, что мысль есть специальная функция человеческого мозга, он объявляет безнадежно устаревшим и вредным для развития науки. Переворот в научном сознании, связанный с открытием иных, отличных от человеческого мозга носителей мысли, он сравнивает с переворотом Коперника, заменившего геоцентрическую систему мира гелиоцентрической.

Положительно оценивают возможности машинного творчества и многие другие видные ученые. Например, академик В. М. Глушков пишет: «...принципиально ясна техническая возможность построения систем машин, которые могли бы не только решать отдельные интеллектуальные задачи, но и осуществлять комплексную автоматизацию таких высокоинтеллектуальных творческих процессов, как развитие науки и техники... Во второй половине XX столетия задача широкой автоматизации умственного труда стала не только гипотетической возможностью, но и реальной исторической необходимостью».

Нет недостатка и в представителях противоположной точки зрения. Наиболее отчетливо и определенно она развита, пожалуй, в статье П. Палиевского «Мера научности» и в других его выступлениях. Эта позиция вкратце, сводится к следующему: все естественное, природное имеет тем самым неизмеримое преимущество над всем искусственным, специально изготовленным, все подлинное — над любой имитацией. Корни этого преимущества П. Палиевский видит в том, что все естественное связано с неисчислимым, неисчерпаемым богатством мира, его самодвижением и саморазвитием, тогда как в искусственных созданиях эти связи отсутствуют. Представителей противоположной точки зрения автор иронически называет «энтузиастами изготовительства».

Не в столь развернутой и категорической форме, но не менее определенно протестуют против вторжения машин в высшие виды умственной человеческой деятельности некоторые ученые гуманитарного профиля. Попытки воспроизвести эти виды деятельности на уровне автоматов кажутся им убогими, неполноценными, заранее обреченными на неудачу.

Именно эти две точки зрения (может быть, выраженные не так резко) и сталкиваются во всех спорах по поводу «машинного творчества». Назовем их условно «инженерной» и «гуманитарной» (условно потому, что приверженность к той или иной позиции не всегда точно соответствует профессии ее «носителя»). «Инженерная» точка зрения по поводу возможностей машин в области мысли и творчества варьируется в пределах от решительного «да!» К. Штейнбуха до менее определенного, но вполне благожелательного «а почему бы и нет?». Напротив, «гуманитарная» точка зрения яростно сопротивляется самой идее «машинного творчества», считает ее профанацией, наглым вторжением в некое «святое святых», сигналом грозного наступления «мира роботов» на «мир людей». Многие доводы, приводимые в защиту этой точки зрения, выглядят довольно убедительно: в самом деле, феномен творческой деятельности человека очень сложен (чтобы не сказать — неизмеримо сложен), и все попытки его моделирования, по крайней мере в настоящее время, выглядят по сравнению с подлинником крайне примитивными и несовершенными.

Формируя свою точку зрения в споре, каждый его активный или пассивный участник опирается, конечно, на свою ассоциативную базу. Причем решающими элементами этой базы оказываются в данном случае не мысли и факты, а эмоции. Корни разногласий не в

логике, а в сфере эмоциональных предпочтений и отталкиваний. Здесь же корни несомненно имеющегося (хотя иногда и скрытого) антагонизма спорящих. При этом «инженерная» точка зрения обычно выступает в роли нападающей, а «гуманитарная» — обороняющейся стороны.

Попытаемся разобраться — хотя бы в грубых чертах — в эмоциональных истоках этого антагонизма.

Начнем с того, что эмоциональная окраска понятия «машина» (или «автомат») для спорящих резко различна.

Сторонник гуманитарной позиции представляет себе автомат «в общем виде», отчужденно и отвлеченно. Для него автомат — нечто сложное, малопонятное, могущественное, но бездушное и отчасти враждебное человеку. Ассоциативное поле, связанное с понятием «автомат», лежит для него где-то между уличными автоматами (от которых, как известно, добра не жди) и многочисленными «роботами» научно-фантастической литературы, которые, конечно, говорят, понимают речь, но бессердечны, своенравны и страшноваты. В сознании некоторых гуманитариев мифические «роботы» населяют будущее, подобно злым духам, населяющим мир в представлении первобытного человека.

Для инженера или математика, непосредственно имеющего дело с автоматами, машина — это «свой брат», не таящий в себе ничего ни страшного, ни загадочного (кстати, термин «робот», столь популярный в гуманитарной среде, специалистами употребляется не часто). Напротив, автомат подчас вызывает раздражение именно своей беспомощностью и «глупостью»: малым объемом памяти, недостаточным быстродействием — словом, вполне реальными недостатками. Зная эти недостатки, специалист примерно представляет себе и пути их преодоления, и трудности, ждущие его на этих путях. Его отношение к машинам по своей природе не мифологично, а конструктивно. Возможности машин он оценивает трезво и здраво, а главное, не склонен ставить какие-то границы этим возможностям. Для инженера-исследователя гипотеза о том, что возможности машин имеют границы, просто не нужна. Ясно, он недоволен, когда ему пытаются такие границы навязать. В этом первое эмоциональное различие.

Отметим и другое. В полемическом антагонизме, сталкивающем стороны в споре «машина и творчество», известную роль играет один ходячий предрассудок, на котором стоит остановиться отдельно. Этот предрассудок касается научной методологии и довольно распространен в инженерной среде. Он состоит в том, что науки якобы делятся на «подлинные» (т. е. точные) и науки, так сказать, «второго сорта» (гуманитарные). Для первых характерен количественный метод исследования, применение математического аппарата и связанная с ним непрерывность выводов. Для вторых, напротив, характерна неясность, расплывчатость, качественный (а значит, неубедительный) характер аргументации. С этой точки зрения имени науки заслуживает только то, что выражено количественными, математическими законами, все остальное — пустые слова, «сотрясение воздуха».

Такой нигилистической позиции в отношении гуманитарных наук придерживаются (в явной или скрытой форме) многие инженеры, физики, математики. Привыкнув к лаконичной и строгой количественной форме выражения истин на материале своих наук, они слишком легко скидывают со счета любое научное построение, если оно носит словесный характер, а не облечено в форму уравнений. Многим специалистам в области точных наук свойственно некое физико-математическое чванство, нередко

проявляющееся с самых первых годов обучения. Рассказывают, что когда-то один известный ученый, открывая совместный вечер студентов физического и механико-математического факультетов МГУ, начал свою вступительную речь такими словами: «Физиков и математиков роднит чувство абсолютного умственного превосходства над студентами всех остальных факультетов». (Справедливость требует отметить, что теперь среди физиков и математиков такая позиция менее распространена и процветает по преимуществу в среде инженеров, применяющих математические методы.)

Если рассуждать здраво, то оснований для подобного чванства нет никаких. Слов нет, количественные, математические методы служат мощным средством исследования явлений окружающего мира, но было бы ошибкой провозглашать их универсальными и единственно научными. Надо помнить, что истину, добытую математическими методами, нет оснований возводить в ранг непререкаемых. Только в чистой математике возможно выведение правильных следствий из произвольных (аксиоматически выбранных) предположений; здесь проверяется не истинность тех или других аксиом и следствий, а правильность цепочки логических умозаключений, связывающих исходные посылки с выводами. В любой другой науке ситуация оказывается более сложной. Никакой самый совершенный математический аппарат не может сам по себе придать истинность научным выводам. Важно другое: адекватна ли действительности математическая модель, положенная в основу исследования? Если нет, исследование и вытекающие из него выводы ложны.

Построение математических моделей и их количественное изучение дали, как известно, блестящие результаты при решении физических и технических задач. За последние десятилетия область применения математических моделей необычайно расширилась. Математические модели становятся ценным подспорьем в биологии, медицине, языкознании, экономике, военном искусстве. Однако нельзя забывать, что каждая из этих наук имеет дело с феноменами несравненно более сложными, чем объекты изучения классических точных наук. В связи с этим математические модели играют здесь не основную, а подсобную роль.

Что касается тех наук, которые занимаются самыми сложными общественными явлениями — скажем, искусством, — то в них методы математического моделирования делают еще только первые шаги. Пока что в классических гуманитарных науках (эстетика, литературоведение и т. п.) математические методы играют более чем скромную роль и полученные с их помощью результаты ни в какое сравнение не идут с результатами, добытыми традиционными описательными методами.

Вряд ли и в будущем развитие гуманитарных наук пойдет по пути сплошной формализации и математизации. Математический аппарат (по крайней мере в том виде, в каком он сейчас существует) недостаточно гибок для того, чтобы освоить ряд существенных категорий, таких, например, как «сходство», «приемлемость», «важность», «содержательность» и другие. Попытки перевести эти категории на чисто количественный язык «больше—меньше» зачастую приводят к огрублению и искажению действительности. Пока что в сложных ситуациях такой, казалось бы, ненадежный, малоточный аппарат, как словесное описание, оказывается и точнее, и богаче формулы. Тем не менее со стороны представителей точных наук нередко наблюдается по отношению к гуманитариям этакая позиция завоевателя. Как выразился один из них, «нет наук не математизируемых, есть только еще не математизированные». Подобная позиция не может не вызвать со стороны гуманитариев ответной — оборонительной — реакции.

Помимо основных — эмоциональных — корней спора «машина и творчество», взаимное непонимание сторон основано еще на некоторых ходячих заблуждениях, причина которых — просто недостаточная осведомленность.

Остановимся на некоторых возражениях против возможности «машинного творчества», с которыми чаще всего приходится встречаться в спорах.

Одно из них состоит в следующем: творчество есть создание *нового*, а машина способна только к тем действиям, которые заранее заложены в нее, запрограммированы ее создателем — человеком.

Это возражение несостоятельно: оно основано на устаревшем наивном представлении об автомате как устройстве, все действия которого в точности предопределены программой. Такими были автоматы на заре развития этой техники, но сегодня разрабатываются (и уже применяются) высокоорганизованные устройства, способные, подобно человеку, обучаться и самообучаться, совершенствуя свою программу на основе опыта. Автомат, снабженный вначале лишь примитивной и несовершенной программой, вступает во взаимодействие с окружающей средой, получает от нее информацию, в соответствии с ней корректирует свои действия, вырабатывает себе программу, оптимальную для данной ситуации. Именно таким автоматам (обучаемым и самообучающимся) принадлежит будущее, только им доступно воспроизведение высших функций человеческого мозга.

Утверждать сегодня, будто автомат не способен к самостоятельным действиям, не может создать ничего нового, это все равно что сказать: ни один человек никогда не создаст ничего нового, так как все его действия предопределены комбинацией генов, полученных от отца и матери.

Тут может возникнуть иронический вопрос: так что же, автомат обладает свободой действий, свободой воли?

Да, известной свободой действий он обладает (со «свободой воли» торопиться не будем, так как здесь аналогия пока что сомнительна).

В спорах на тему «машина и творчество» высказанное положение об «известной свободе действий» автомата часто подвергается резкой критике. Оно рассматривается чуть ли не как идеалистическое. Только подумать: автомат — и свобода действий!

На самом деле все обстоит очень просто: способность автомата к непредсказуемым («произвольным») действиям обеспечивается вводом в программу того или иного «генератора случайных ходов». Представьте себе, например, что вам предстоит выбор между двумя действиями: а) идти направо и б) идти налево. Опыта, диктующего выбор направления, у вас нет; приходится выбирать его наугад. Вы подбрасываете монету и, если выпал герб, идете направо, а если решка — налево. Постепенно, повторяя опыт, вы можете сориентироваться в обстановке и убедиться, что вам выгоднее чаще ходить направо, чем налево. Тогда вы можете разыграть свой ход так, чтобы вероятнее был исход «направо», например, подкинуть две монеты и, если хотя бы на одной из них выпадает герб, идти направо, а если на обеих решки, идти налево.

Аналогичный механизм (только, разумеется, в гораздо более сложной форме) кладется и в основу случайных, заранее не предсказуемых действий машины. Применяя такие действия и наблюдая реакцию внешней среды, машина как бы ориентируется в обстановке, «нащупывает» правильный образ действий. Первоначальное бессмысленное,

хаотичное поведение постепенно под влиянием сигналов от внешней среды (или от обучающего) превращается в осмысленное, целесообразное. Заметим, что сходная процедура (так называемый «метод проб и ошибок») часто лежит в основе процесса обучения или самообучения человека.

Часто высказывается пренебрежительный взгляд на случайность как источник нового. Он несправедлив. В основе многих новых явлений в той или иной форме лежит случайность. Общеизвестна роль случайных мутаций в биологии. Именно в результате этих мутаций возникают новые формы живых организмов, без чего невозможен прогресс в живой природе. Селекционеры для выведения новых видов также пользуются управляемыми, искусственно вызванными мутациями.

Многие научные открытия возникли в результате случайного стечения обстоятельств (легенда о «ньютоновом яблоке» вряд ли соответствует истине, но она характерна как дань представлению о случайности в науке). Да и в искусстве случайность нередко обладает известной «творческой силой». Вспомните калейдоскоп — элементарную «машину», предназначенную именно для творчества, хотя и весьма примитивного. В трубке со стеклянными перегородками случайным образом перемешиваются цветные стекла; отражаясь в зеркалах, они образуют причудливые узоры, иной раз довольно красивые. Существуют приемы изготовления тканей, узор которых образуется чисто случайным образом. Известно, что некоторые художники (среди них Леонардо да Винчи!) черпали образы своих картин в случайных пятнах плесени на стене, в нагромождениях облаков и т. д.

А в литературе? Каждый писатель знает, к какому иногда неожиданно яркому художественному эффекту может привести случайная описка, обмолвка... Курьезный пример. Однажды я получила телеграмму: «Поздравляю Новым годом, желаю здоровья, успехов, удали». Телеграмма имела успех, но потом выяснилось, что он вызван опечаткой: последнее слово в оригинале было не «удали», а «удачи»...

Разумеется, творчество далеко не исчерпывается случайностью, но безусловно содержит ее как один из своих элементов. По-видимому, всякая творческая деятельность представляет собой сплав случайных элементов с элементами организующими, дисциплинирующими.

В общих и грубых чертах любой творческий процесс можно условно разделить на два этапа: подготовительный и отборочный. На первом этапе создается множество «заготовок», или возможных вариантов. На втором этапе производится их «просеивание», отбрасывание негодных и окончательный выбор одного — лучшего. Нет сомнения, что машина с ее огромным быстродействием, способная не уставая и не выдыхаясь перебирать необозримое множество вариантов, может существенно помочь человеку на первом этапе.

Рассмотрим в качестве примера работу инженера-конструктора, создающего техническое устройство определенного назначения. Ему приходят в голову кое-какие варианты, но он далеко не уверен, что предусмотрел все возможные. Завтра (если не сегодня) он обратится за подсказкой к машине, которая предложит его вниманию множество вариантов, среди них могут оказаться и весьма удачные, которые самому конструктору не пришли бы в голову...

Ну, скажут скептики, этот пример неубедителен. Ведь все-таки творчество конструктора — это не художественное творчество. Хорошо, возьмем другой пример.

Каждому литератору знакомы моменты поисков «нужного слова», когда единственно необходимое в данном контексте слово прячется, выскальзывает из рук, а вместо него навязчиво вылезают другие, похожие по смыслу, но не совсем те... Плохо ли было бы, если бы он имел возможность обратиться к машине, которая мгновенно выдала бы ему ряд слов, близких по значению к тем, которые приходят в голову? Машина могла бы выдать и ряд других, ассоциативно связанных с искомыми.

Конечно, некоторым литераторам обращение к машине за творческим советом покажется кощунственным; но примирились же они в конце концов с заменой гусяного пера стальным, стального — авторучкой, авторучки — машинкой?

Лично мне такое использование машины-справочника, машины-советчика не кажется ни кощунством, ни нелепостью (разумеется, если обращение к машине обставлено со всем возможным комфортом и не требует специальных акций вроде поездки в вычислительный центр и включения данного запроса в план работ). Опыт учит, что любое внедрение техники в область творческого труда сначала встречается в штыки приверженцами старого Пегаса, но затем становится общепринятым и делает свое дело.

Итак, на первом, подготовительном этапе творчества машина безусловно может помочь человеку. Как же обстоит дело со вторым этапом — отборочным?

Вне сомнения, гораздо сложнее. Отобрать среди множества вариантов наилучший, единственно нужный, конечно, много сложнее, чем эти варианты заготовить. В отборе, отсечении лишнего — подлинная функция творца, знаменитый скульптор Огюст Роден так описывал процесс создания статуи: «Я беру глыбу мрамора и отсекаю все лишнее». О творческом процессе как «отбрасывании лишнего», «снятии покровов» говорит и Л. Н. Толстой. Помните, как художник Михайлов в романе «Анна Каренина» работает над рисунком фигуры человека, находящегося в припадке гнева? Случайное (!) пятно стеарина оживило для него начатый рисунок, дало человеку новую позу. «Фигура эта жила и была ясно и несомненно определена. Можно было поправить рисунок согласно с требованиями этой фигуры, можно и должно даже было иначе расставить ноги, совсем переменить положение левой руки, откинуть волосы. Но, делая эти поправки, он не изменял фигуры, а только откидывал то, что скрывало фигуру. Он как бы снимал с нее покровы, из-за которых она не вся была видна; каждая новая черта только больше выказывала всю фигуру во всей ее энергической силе, такую, какою она явилась ему вдруг от произведенного стеарином пятна».

Итак, подлинное творчество — это отбор, «отсечение ненужного», «снятие покровов»...

Напрашивается мысль, что на втором, отборочном этапе машина уже не может помочь человеку. И все же это не совсем так.

Во-первых, отбор бывает разный, различной степени сложности. В простейших случаях отбор сводится к тому, что из созданных (предложенных) машиной случайных комбинаций отбрасываются те, которые не удовлетворяют каким-то формальным требованиям (законам). Так, например, современные машины «сочиняют» музыку. Сначала машина генерирует случайные последовательности звуков, затем из них автоматически отбрасываются те, которые не удовлетворяют правилам гармонии, контрапункта или определенным стилистическим требованиям. Кстати, получаемая таким способом музыкальная «продукция» отнюдь не лишена художественных достоинств и вполне может конкурировать с рядовыми работами музыкантов-профессионалов.

В качестве убедительного примера сошлюсь на следующий факт: одна из телевизионных передач как раз на тему о «машинном творчестве» целиком, с начала и до конца, шла под аккомпанемент музыки, «сочиненной» электронной цифровой вычислительной машиной по программе, составленной музыкантом и математиком Р. Х. Зариповым. Зрители не были предупреждены о том, что передачу сопровождает машинная музыка; им об этом сообщили только в самом конце. И что же? Практически никто не заметил в музыке ничего особенного, не заподозрил ее «нечеловеческого» происхождения (впрочем, никто специально не отмечал и каких-либо особых художественных ее достоинств). Во всяком случае музыка воспринималась как вполне «нормальная», не отличающаяся от обычного музыкального сопровождения телепередач...

Так обстоит дело с применением машин на отборочном этапе в самых простых случаях, когда «критерии отбора» могут быть формализованы, сведены к системе правил.

В более сложных случаях (а они типичны для художественного творчества) критерии отбора неясны и не поддаются формализации. В таких случаях функция отбора гораздо ответственнее и пока доступна только человеку с его непревзойденным умением решать нечетко поставленные, не формализованные задачи. Однако значит ли это, что в таких случаях функция отбора *в принципе* недоступна машине? Нет, не значит.

Речь идет не о сегодняшних крайне несовершенных автоматах — речь идет о завтрашних машинах, способных к обучению и самообучению. Здесь, как и во всех, плохо формализуемых задачах, могут помочь так называемые *эвристические программы*, когда обучаемый автомат, как бы подражая своему учителю — человеку, перенимая его приемы, воспроизводит в той или иной мере функцию отбора. Уже в настоящее время примерно по такой схеме автоматы обучаются некоторым видам деятельности человека, например работе диспетчера. Возможности эвристических методов огромны. Любопытной их чертой является то, что, начав с простого подражания человеку, автомат через некоторое время тренировки может усовершенствовать свою программу и в принципе даже превзойти своего учителя — человека. Отдельные примеры таких состязаний «человек—машина», в которых обученная машина переигрывает своего учителя — человека, имеются уже и сейчас. Правда, они относятся к сравнительно простым образцам умственной деятельности, но, как говорится, лиха беда начало...

Разумеется, трудности построения эвристических программ огромны, причем с усложнением умственно-психической деятельности, которую требуется воспроизвести, задача усложняется в огромной степени. Но принципиальная возможность обучения автомата некоторым видам неформальной деятельности несомненна.

Среди возражений против «машинного творчества» часто фигурирует одно, близкое к философской концепции, выдвинутой в уже упоминавшейся статье П. Палиевского: ничто «искусственное», никакое «подражание» не может, по существу, обладать всей полнотой и полноценностью имитируемого объекта, так как в любом искусственном всегда будет не хватать «чего-то», присутствующего в неискусственном, природном.

Эту точку зрения трудно опровергать именно в силу ее крайней неопределенности. Поди докажи, что в твоих искусственных созданиях есть это неуловимое «что-то»! Ситуация напоминает известное требование: «Пойди туда, не знаю куда, принеси то, не знаю что». Единственный возможный путь спора с такой позицией — конструировать убедительные аналогии.

Как известно, человечество создало искусственное устройство — самолет, первоначально задуманный как имитатор летательной способности птицы, но быстро оторвавшийся от своего имитаторского амплуа и начавший вполне самостоятельную жизнь. Вряд ли кто-нибудь будет сомневаться в полноценной способности самолета именно *летать* и делать это по ряду признаков лучше птицы, хотя у последней есть все преимущества «естественного и живого». Все дело в том, что к формулировке «машина летает» мы уже привыкли, а формулировка «машина думает» или «машина творит» все еще кажется нам дикой.

Конечно, можно утверждать, что птица летает совсем в другом смысле, чем «летает самолет», и в этом есть своя правда. Формулировка «машина думает» также предполагает некоторое изменение понятия «думать». Мы уже привыкли к термину «машинная память» — это удобный способ говорить о процессах, происходящих в машине. Стоит ли «с пеной у рта» возражать против таких расширенных словоупотреблений, да еще придавать этим возражениям статус философской позиции?

Впрочем, с философски развернутой формой отрицания в споре «машина и творчество» приходится встречаться не так уж часто. Гораздо больше распространена другая форма, которую можно назвать «отрицанием с переменной базой». Она сводится к тому, что за подлинные образцы мышления и творчества спорящий соглашается признать только то, что *еще не достигнуто машиной*. Как только какая-то область умственной деятельности человека оказывается завоеванной машинами, граница «подлинности» отодвигается дальше, а отрицание продолжается.

Два-три десятилетия назад такие «отрицатели» соглашались признать за машиной только способность вычислять; зато творческая функция составления программы, прибавляли они, машине недоступна. Появление автоматов, составляющих и оптимизирующих программы, заставило их слегка пересмотреть свою позицию — функция составления программы, раз уж она оказалась доступной для машины, была отнесена к нетворческим — за человеком оставалось создание математической модели, выполнение алгебраических преобразований, логических умозаключений... И что же? Во всех этих областях сегодня машина начинает соперничать с человеком... Граница подлинно творческой деятельности отодвигается все дальше, но существование самой границы отстаивается с прежним пылом!

Разумеется, нельзя никому помешать придерживаться такой «переменно-постоянной» точки зрения, но она автоматически отменяет самый предмет спора. Если считать за подлинные образцы мышления и творчества то, что на сегодняшний день еще не освоено машинами, разумеется, ответ на вопросы: «Может ли машина мыслить? Способна ли она к самостоятельному творчеству?» — всегда будет один и тот же: «Нет!»

Остановимся еще на одном возражении ярко эмоционального характера, часто выдвигаемом противниками «машинного творчества». Оно формулируется примерно так: а все-таки машина никогда не сможет полностью заменить человека!

Здесь недоразумение со словом «заменить». Как правило, опыты по моделированию умственных и творческих функций человека ведутся без прямой задачи во что бы то ни стало *заменить* человека в этих его функциях. Цель опытов другая — моделируя, лучше разобраться в существе моделируемых процессов.

«Заменять» человека машиной имеет смысл только в тех функциях, которые машина выполняет лучше человека. И в этих случаях замена происходит не насильственно, в

результате агрессивной деятельности «энтузиастов изготовительства», а мирно, естественно, из соображений удобства и экономической выгоды. Так, например, произошло мирное вытеснение человека машиной из области сложных численных расчетов. В прошлом веке и в начале нынешнего высоко ценились виртуозы-вычислители, способные аккуратно, без ошибок производить сложнейшие расчеты с помощью семизначных таблиц логарифмов. Где теперь эти виртуозы? Где сами семизначные таблицы? Отпали, упразднены жизнью. В недалеком будущем та же судьба, вероятно, постигнет и сложные буквенные преобразования (сейчас это искусство, имеющее своих артистов). Далее — очередь формальных доказательств теорем и т. д. Первые попытки применения машин в этих областях делаются уже сегодня. Например, машина выполняет тождественные алгебраические преобразования выражений, заданных в буквенном виде; среди полученных вариантов она выбирает наиболее простые («изящные») по определенному признаку (количество букв, одночленная или многочленная форма и т. д.). Какое облегчение для математиков, особенно рассеянных, которые не умеют выполнить мало-мальски сложное преобразование, не ошибившись в знаке и не потеряв двойки!

Проводятся опыты и по привлечению машин к формальному доказательству теорем. Приведу любопытный факт: в процессе отладки программы для логических умозаключений машине было поручено вывести ряд теорем, относящихся к одному из разделов геометрии. Машина не только справилась с задачей, но и вывела дополнительно две новые теоремы, неизвестные составителям программы!

Итак, «замена» человека машиной происходит своевременно и ненасильственно там, где машина сильнее человека. Что касается высших форм творческой деятельности, то пока человек приспособлен к ним куда лучше, чем машина, и вопрос о «замене» ни сегодня, ни в близком будущем не возникает.

Энтузиасты часто говорят с восторгом об отдельных удачных образцах машинного творчества: музыкальных мелодиях, стихотворениях, которые иногда трудно бывает отличать от созданных профессионалами. Несмотря на внешнюю эффектность таких образцов, они все же не выглядят особенно убедительными. По существу, здесь демонстрируются только отдельные *элементы*, которые наряду с другими могли бы встретиться и в творчестве человека. Куда более сложная задача композиции, объединения элементов, подчинения их некоему замыслу до сих пор машиной не решена. Не надо забывать также, что на суд публики выставляются не все образцы «машинного творчества», а только некоторые из них, наиболее удачные с точки зрения экспериментатора, — это значит, что функция отбора, просеивания опять-таки выполняется человеком. Это — в области музыки, где успехи «творящих машин» наиболее существенны. Что касается «машинной поэзии», то здесь успехи более чем скромны; опыты по «машинному сочинению стихов» в лучшем случае доказали, что, пользуясь определенным словарным запасом (т. е., по существу, набором штампов), можно создать предмет, имеющий видимость стихотворения, где все в порядке: фразы грамматически осмысленны, размер соблюден, рифмы проставлены... В настоящее время даже лучшие (специально отобранные!) образцы «машинной поэзии» читаются скорее как пародии на убогое творчество стихотворца-ремесленника, чем как полноценные стихи. Кроме того, нельзя забывать, что эти образцы чаще всего известны нам не в подлинниках, а в переводах (количество «машинных» стихов отечественного производства ничтожно). Работа же переводчика может до неузнаваемости «очеловечить» исходный машинный текст.

Значит ли это, что опыты по моделированию творчества вообще бессмысленны и бесполезны? Отнюдь нет. Ведь главная цель таких опытов — по возможности разобраться

в структуре творческого процесса. Те «художественные» произведения, которые получаются в результате моделирования, представляют собой скорее побочный продукт производства, чем его цель. Однако сам факт, что в отдельных случаях этот побочный продукт имеет самостоятельную (пока невысокую) художественную ценность, заслуживает внимания.

Наша научно-популярная литература (уж не говоря о научно-фантастической) очень много внимания уделяет *возможностям* науки и техники, но почти ничего не говорит об их *ограничениях*. Широкой публике почти ничего не известно о серьезных трудностях, связанных с имитацией некоторых сторон человеческой деятельности, даже не самой сложной, не творческой. Мало кто знает, что сегодняшние автоматы (и автоматы ближайшего будущего) не в силах заменить, скажем, обыкновенного вахтера, сидящего у двери и сличающего лицо посетителя с его изображением на фотографии. Есть автоматы, читающие печатный текст, но пока еще нет автоматов, читающих рукописи. Есть автоматы, выполняющие несложные команды, поданные голосом, но нет еще автоматов, способных выполнить сложную последовательность команд, поданную в обычной речевой форме: слишком разнятся между собой людские голоса, оттенки произношения, ритмика речи. Все это задачи, относящиеся к так называемой «проблеме распознавания образа» — одной из труднейших, ключевых проблем современной науки.

Подлинное овладение машинной техникой наступит тогда, когда мы научим автоматы, подобно человеку, распознавать образы. Здесь мы всегда встречаемся со специфической и пока невозпроизводимой способностью человека — оценивать ситуацию *в общем*, отбрасывая несущественные подробности и фиксируя только главные. Например, самый ограниченный человек способен опознать предмет под названием «дом» — не важно, велик он или мал, выкрашен в красный или белый цвет, освещен сбоку или спереди, виден на фоне деревьев или забора. Тогда как самый совершенный сегодняшний автомат этой простейшей задачи (и ряда ей подобных) решить не может. Автомату нельзя дать указание типа «ознакомься с обстановкой, оцени ее и поступай соответственно» — ему надо подробнейшим образом «растолковать», как он должен себя вести в том или другом случае. В таких условиях человек по сравнению с сегодняшним автоматом находится на недостижимой высоте; он умеет решать так называемые *неформальные* задачи. Научить этому автоматы значило бы сделать огромный шаг вперед в деле имитации чисто человеческих функций; надо трезво, без паники учитывать, что этот шаг очень труден.

Сознание трудностей воспитывает уважение к тому, что уже сделано. Чтобы его по достоинству оценить, надо знать, почем фунт лиха. Современный читатель-неспециалист, вскормленный на научно-фантастической литературе, слишком склонен недооценивать и то, что уже сделано, и то, что еще предстоит сделать. В воображении иных говорящие, понимающие, сторожащие и подслушивающие «роботы» — это уже реальность если не сегодняшнего, так завтрашнего дня, и ничего особенного тут нет, наука все может. Чисто обывательская позиция. «Для обывателя, — как сказал однажды писатель А. Б. Раскин, — характерно сочетание слепой веры во всемогущество науки с глубоким убеждением, что ничего хорошего из этого не выйдет».

Иногда удивляешься: до чего же легко атрофируется у некоторых людей естественное человеческое чувство удивления!

Разве не удивительно, например, что наши сегодняшние, крайне несовершенные машины уже способны сочинять музыку, которую можно слушать без отвращения? Разве не поразительны опыты по автоматическому конструированию технических устройств, по автоматическому расшифровыванию древних текстов? Разве не восхитительно, что

машина после десяти—двадцати часов тренировки уверенно обыгрывает в шашки человека, составившего для нее программу?

Куда там! Наш скептик не умеет ни удивляться, ни восхищаться. Он умеет только критиковать. Он сосредоточивает свой пыл на выявлении недостатков и несовершенств современных образцов «машинного творчества». В этом ему нетрудно преуспеть, ибо недостатки и несовершенства изобильны и легко обнаруживаются. И критик торжествующе заявляет: «Все равно ничего у вас не выйдет!» Опомнитесь, хочется ответить такому критику, учтите, что электронная вычислительная техника еще очень молода, она насчитывает чуть больше четверти века, а автоматы — имитаторы умственной деятельности человека еще гораздо моложе. Попрекать ребенка, делающего первые шаги, тем, что он ходит еще плохо,— это, как хотите, не по-джентльменски...

А с другой стороны, хочется сказать «поостерегитесь!» тем инженерам-энтузиастам, которые, достигнув первых успехов в области «машинного творчества», спешат объявить задачу уже решенной... Нельзя забывать, что большое время и множество трудов отделяют первые эффектные попытки и демонстрации от реальной, «промышленной» эксплуатации автоматов в данной сфере умственной деятельности.

Вспомним, как обстояло дело хотя бы с машинным переводом. Первые успешные попытки такого перевода демонстрировались уже в начале 50-х годов. Казалось, еще небольшое усилие — и проблема машинного перевода будет разрешена. Оказалось, это не так. Первоначальные довольно примитивные алгоритмы машинного перевода оказались слишком локальными, слишком привязанными к особенностям того именно текста, который переводился. Понадобились более общие методы. В связи с этим возникла новая самостоятельная научная дисциплина — математическая лингвистика, изучающая различного типа модели языка. Несмотря на большие успехи, достигнутые в этой области, до сих пор еще реальная проблема машинного перевода остается практически нерешенной. Максимум, чего удалось добиться,— машинный перевод специальных (по преимуществу технических) текстов, и то перевод не особенно высокого качества, который приходится редактировать. Функция редактирования до сих пор еще остается прерогативой человека.

Итак, мы видим, что на каждом этапе развития науки и техники происходит временное разделение труда между машиной и человеком. Машине предоставляются те функции, которые в настоящее время она выполняет лучше, быстрее, экономичнее. Никакой резкой границы между «творческими» и «нетворческими» функциями человека нет. Пусть нас не оскорбляют слова «машина мыслит», «машина творит». Не надо ставить никаких ограничений возможностям машин; подобные ограничения никогда не были плодотворными.

Но не надо и торопиться объявлять о «замене» человека машиной в тех его функциях, с которыми он пока лучше нее справляется. Человеку пока еще есть над чем работать!

ОБ АВТОРАХ И ПУБЛИКАЦИЯХ

Леон Бриллюэн (1890—1969), член Национальной академии наук США, физик, известный, в частности, работами по взаимосвязи теории информации и термодинамики.

Статья публиковалась в виде реферата в польском журнале «Problemy» (1974, № И, 12). Пер. с англ. яз.

Берг Аксель Иванович (1893—1979), действительный член АН СССР. Специалист в области радиотехники и радиоэлектроники. Работы в области кибернетики и ее практических приложений

Бирюков Борис Владимирович, доктор философских наук, специалист в области математической логики, автор работ по философским вопросам кибернетики.

Статья впервые опубликована в сборнике «Будущее науки» (М.: «Знание», 1973).

Бусленко Николай Пантелеймонович (1922—1977), член-корреспондент АН СССР, математик, специалист в области теории сложных систем и машинного моделирования.

Бусленко Владимир Николаевич, кандидат технических наук, специалист по математическому обеспечению ЭВМ и автоматизированным системам управления.

Статья впервые опубликована в сборнике «Будущее науки» (М.: «Знание», 1973).

Карл Хаммер, руководитель отдела вычислительной техники фирмы ЮНИВАК (UNIVAC), президент Американского общества кибернетики.

Статья представляет собой доклад, прочитанный в августе 1974 г. на выставке аппаратуры и приборов для систем автоматизированного управления. Впервые опубликована в Информационных материалах: Кибернетика, 1975, вып. 4 (86). Пер. с англ. яз.

Самарский Александр Андреевич, действительный член АН СССР, специалист в области математической физики, вычислительной и прикладной математики.

Попов Юрий Петрович, кандидат физико-математических наук, автор работ, связанных с созданием и применением вычислительных методов для решения задач магнитной гидродинамики, физики плазмы.

Статья впервые опубликована в Международном ежегоднике «Наука и человечество» (М.: «Знание», 1975).

Конрад Фиалковский, доктор технических наук, директор Института научной, технической и экономической информации ПНР польский писатель-фантаст.

Статья впервые опубликована в журнале «Problemy» (1971, № 12). Пер. с польск. яз.

Кабулов Васил Кабулович, действительный член АН Узбекской ССР. Основное направление деятельности — алгоритмические методы в кибернетике и разработка АСУ.

Статья впервые опубликована в сборнике «Будущее науки» (М.: «Знание», 1977).

Франц Лезер, доктор философских наук, профессор Берлинского университета им. Гумбольдта (ГДР).

Статья публиковалась в сборнике «Будущее науки» (М.: «Знание», 1973).

Пекелис Виктор Давыдович, член Союза писателей СССР. Статья публиковалась в сборнике «Кибернетика ожидаемая и кибернетика неожиданная» (М., «Наука», 1968).

Януш Мигдальский, доктор технических наук, сотрудник технического института (ПНР).

Статья впервые опубликована в журнале «Problemy» (1972, № 8). Пер. с польск. яз.

Рышард Гавронский, доктор технических наук, директор Института бионики Польской академии наук.

Статья впервые опубликована в журнале «Problemy» (1974, № 9). Пер. с польск. яз.

Зарипов Рудольф Хафизович, кандидат физико-математических наук, специалист в области моделирования музыки. Статья публикуется впервые.

И. Грекова, член Союза писателей СССР.

Статья впервые публиковалась в журнале «Новый мир» (1973, №7).

¹ Под «границами» понимаются физические ограничения для экспансии материи: по мнению автора, вместе со своим расширением они теряют и свою «непроницаемость». — *Примеч. ред.*

¹ Фенотип — совокупность всех наблюдаемых черт и свойств, характеризующих индивидуум.

² Генотип — понятие формальной генетики, означающее совокупность генов, передатчиков наследственных черт данного организма, которыми определяются возможности его дальнейшего развития.

¹ Эти программы подробно описаны в книге автора статьи «Кибернетика и музыка» (М., «Наука», 1971).

СОДЕРЖАНИЕ

	3	ТРИДЦАТЬ ЛЕТ СПУСТЯ (Вместо предисловия)
	7	С ПОЗИЦИЙ СЕГОДНЯШНЕГО ДНЯ ПОДВОДЯ ИТОГИ
Леон Бриллюэн	8	Термодинамика — кибернетика — жизнь
Л. И. Берг, Б. В. Бирюков	28	Кибернетика — путь решения проблем управления
Н. П. Бусленко, В. Н. Бусленко	49	Человек и ЭВМ — проблемы общения
		ЭВМ И НАУКА
Карл Хаммер	71	Электронные вычислительные машины в исследованиях и разработках
А. А. Самарский, Ю. П. Попов	89	Вычислительный эксперимент в физике
Конрад Фиалковский	99	Машинный эксперимент
		НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ
В. К. Кабулов	110	Алгоритмическое направление в кибернетике
Франц Лезер	119	Новое в логике и возможности ЭВМ
В. Д. Пекелис	128	Морально-этические аспекты и кибернетика
	141	ПОД НОВЫМ УГЛОМ ЗРЕНИЯ ВТОРЖЕНИЕ В TERRA INCOGNITA
Януш Мигдальский	142	Эра надежности
Рышард Гавронский	154	Моделирование мозга — фантазия или реальность?
		ТВОРЧЕСТВО И КИБЕРНЕТИКА
Р. Х. Зарипов	166	Моделирование в музыке
И. Грекова	184	Полемика и ее издержки
	205	ОБ АВТОРАХ И ПУБЛИКАЦИЯХ

КИБЕРНЕТИКА

НЕОГРАНИЧЕННЫЕ

ВОЗМОЖНОСТИ
И ВОЗМОЖНЫЕ
ОГРАНИЧЕНИЯ

СОВРЕМЕННОЕ
СОСТОЯНИЕ

Сборник статей

Утверждено к печати
редколлекцией серии
научно-популярных изданий
Академии наук СССР

ИБ № 7434

Редактор
Н. Б. Прокофьева

Сдано в набор 09.08.79
Подписано к печати 11.01.80
Т-02512. Формат 84×108¹/₃₂
Бумага типографская № 2
Гарнитура обыкновенная
Печать высокая

Художник
А. В. Пушкарный

Усл. печ. л. 10,92. Уч.-изд. л. 11
Тираж 23200 экз. Тип. зак. 2212
Цена 35 коп.

Художественный редактор
И. В. Разина

Издательства «Наука»
117864 ГСП-7, Москва, В-485,
Профсоюзная ул., 90
2-я типография
издательства «Наука»

Технические редакторы
Э. Л. Кунина,
И. Н. Жмуркина

121099, Москва, Г-99,
Шубинский пер., 10

Корректоры
Б. Н. Белоусова,
В. А. Шварцер