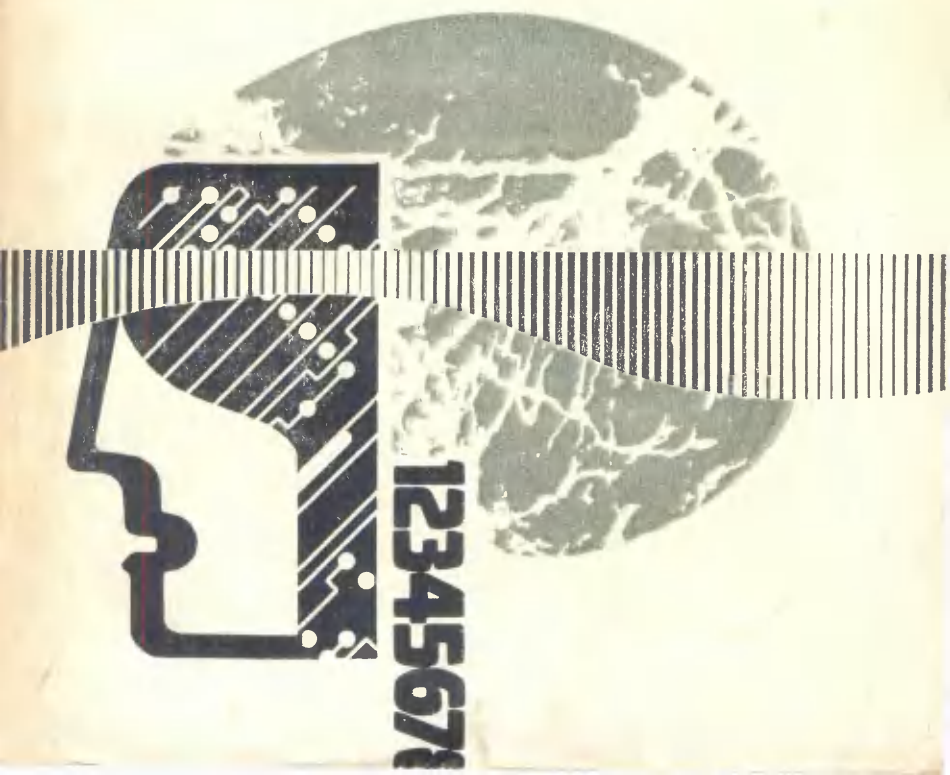


А.В. Напалков  
Л.Л. Прагина

# МОЗГ ЧЕЛОВЕКА и искусственный интеллект

Издательство  
Московского  
университета



1

2

3

4

5

6

## ВВЕДЕНИЕ

Интеллектуальная деятельность неразрывно связана с работой мозга человека. Возникает вопрос: можно ли вообще говорить о передаче вычислительным машинам хотя бы некоторых форм мыслительной деятельности, можно ли говорить об искусственном интеллекте, когда мы не знаем, что такое естественный интеллект? Скептики утверждают: чтобы построить искусственный интеллект, нужно прежде всего познать механизмы работы мозга человека. Между тем общеизвестно, что наука еще далека от решения задачи их раскрытия.

Можно поставить вопрос иначе: нельзя ли так организовать комплексный процесс исследования, чтобы ускорить продвижение вперед как на путях изучения высшей нервной деятельности человека, так и на путях построения все более и более совершенных кибернетических моделей его деятельности, и, что не менее важно, не может ли сама постановка задачи построения искусственного интеллекта облегчить процесс исследования механизмов работы мозга?

Такой подход к проблеме имеет основание. Достаточно воспроизвести в памяти некоторые этапы становления и развития других отраслей науки, например биохимии и биоорганической химии. В недалеком прошлом ученые считали, что синтез органических соединений присущ только живым организмам. Эти вещества нельзя получить искусственно. Когда Ф. Велер впервые синтезировал мочевины, то некоторые скептики тут же попытались исключить ее из числа органических соединений. В наши дни, когда ученые научились синтезировать сложнейшие белки, идти дальше по такому пути отрицания уже не представляется возможным. Метод синтеза занял прочное место в развитии биохимии и биоорганической химии. Он сделался средством проверки полно-

ты знаний, методом, стимулирующим развитие теории и экспериментальных исследований.

Рассматривая первые кибернетические модели интеллектуальной деятельности, исследователи-пессимисты говорят: «Это — не интеллект». Однако такие модели знаменуют начало пути эффективного познания и моделирования работы мозга человека. Построение «искусственного интеллекта» можно определить как метод синтеза.

Авторы настоящей книги не ставили перед собой задачи подробного описания устройства различных «разумных» кибернетических систем и сопоставления их с работой мозга (эти проблемы уже были отражены в других книгах). Они стремились рассказать об успехах, перспективах, проблемах и трудностях развития нового направления науки, которое в конечном счете ставит своей целью как познание механизмов различных сложных форм работы мозга, так и построение кибернетических моделей. Моделирование и кибернетическая теория в этом случае используются как одно из средств проникновения в тайны природы.

Авторы стремились сделать книгу доступной для широкого круга читателей. Вместе с тем она может оказаться полезной и для ученых, работающих в области кибернетики, физиологии, психологии и философии.

В настоящее время быстро возрастает число проблем, стоящих на грани различных областей науки. Существует даже мнение о том, что все действительно новые идеи рождаются на «стыке» наук. При развитии таких идей часто встречаются большие трудности, так как подготовка специалистов предусматривает обычно их узкую специализацию. В этих условиях научно-популярная литература обретает свое новое значение.

Создать тесное сотрудничество в работе кибернетиков, математиков, физиологов, психологов и философов не так просто. Авторы надеются, что настоящая книга сыграет положительную роль и в преодолении этих трудностей.

# УСЛОВНЫЙ РЕФЛЕКС И АЛГОРИТМ

Раскрытие механизмов, лежащих в основе интеллектуальной деятельности человека, — одна из наиболее важных и сложных проблем на современном этапе развития физиологии. Хорошо известно, что в основе работы мозга лежит функционирование систем, объединяющих многие миллионы нервных клеток. Изучены биохимические процессы, которые определяют возникновение возбуждения нервных элементов, принципы функционирования, а также организацию синаптических бляшек, которые осуществляют передачу возбуждения с одной нервной клетки на другую. В то же время остается открытым вопрос о том, каким образом совокупная деятельность нервных элементов приводит к возникновению мышления человека и сложного поведения животных. Очевидно, нервные клетки образуют специфические организации, в которых возникают новые в качественном отношении явления и процессы, определяющие целесообразное поведение человека и животных. Однако пока неизвестно, как формируются такие объединения и каким образом возникающие в них процессы в конечном итоге приводят к тому, что обычно определяется как психическая деятельность человека: к процессу формирования понятий, принятия решений, обучению, памяти, прогнозированию.

Для многих исследователей в области высшей нервной деятельности оказались неожиданными достижения кибернетики по созданию так называемого «искусственного интеллекта». В условиях, когда перед учеными, изучающими высшую нервную деятельность, возникали все новые и новые трудности, кибернетикам удалось воспроизвести на вычислительных машинах достаточно сложные явления, которые относились к области интеллектуальной деятельности человека. Удалось, например, построить

системы, способные находить доказательство геометрических теорем. Как известно, эта форма интеллектуальной деятельности свойственна достаточно высокоодаренным и владеющим математическими методами специалистам. Были также созданы кибернетические устройства, которые решали задачи, выполняемые служащими банка, задачи по балансированию конвейерных линий и др. Каким же образом были достигнуты эти результаты, если ученым еще так мало известно о механизмах деятельности мозга?

Следует обратить внимание на то, что кибернетики, создающие модели «искусственного интеллекта», не использовали данных о работе нервных элементов, об организации ансамблей нейронов, о функциях нервных центров. Их интересовали проблемы, связанные с разработкой так называемых «эвристических» программ для вычислительных машин. Такие программы имели свои законы функционирования, свою организацию. Именно эта организация, а не устройство вычислительной машины определяла возможность создания элементов интеллектуальной деятельности. Отдельные операции — элементы работы эвристических программ — были очень просты: запись сигнала в памяти, сравнение сигналов и т. д. Способности к творческому (эвристическому) отысканию решений задач определялись спецификой целостной структуры, организацией информационных процессов. Результаты работы программ не зависели от того, на каком именно физическом субстрате была реализована их деятельность.

Возник вопрос: не лежат ли какие-либо подобные принципы и в основе интеллектуальной деятельности человека и не обеспечивает ли развитие кибернетики каких-то более эффективных и прямых путей к разгадке тайн работы мозга и расшифровке механизмов психической деятельности? Такая постановка вопроса привела к поискам новых подходов к исследованию механизмов работы мозга, связанных с использованием достижений кибернетики. Поиск шел по различным направлениям. Мы остановимся сначала на одном из них, связанном с развитием системы представлений об алгоритмическом анализе работы мозга.

Одной из теоретических основ развития нейрофизиологии в наши дни является учение И. П. Павлова о высшей нервной деятельности. Положения этого учения хорошо известны. Можно условно выделить два аспекта его развития. Один связан с раскрытием механизмов формирования сложного целесообразного поведения человека и животных. Другой — с изучением нейрофизиологических механизмов работы мозга, анализом организации систем нервных клеток.

И. П. Павлов считал, что в основе высшей нервной деятельности человека и животных лежит выработка и функционирование условных рефлексов. Их формирование определяется комплексом специальных правил. Так, если в эксперименте, перед тем как собака получит безусловное подкрепление (например, пищу), несколько раз включить индифферентный, безразличный для животных сигнал (например, белую лампочку), то вырабатывается новая временная связь и в ответ на условный раздражитель у животного начинается отделение слюны — реакция, которая ранее осуществлялась только при получении пищи. Правила приобретают более сложный вид, если объектом исследования является формирование двигательных условных рефлексов. В этом случае живые организмы, активно воздействующие на внешний мир, изменяют его. Таким образом, правила работы мозга — это закономерности, определяющие взаимодействие внешней среды и организма.

Эта концепция, казалось бы, открывала пути для решения основных проблем, возникающих при изучении работы мозга. Правила формирования условных рефлексов обеспечивают, как писал И. П. Павлов, «уравновешивание внешней среды и организма», т. е. формирование поведения, адекватного любым возникающим новым ситуациям. В то же время процесс замыкания новых связей между нервными клетками обеспечивает формирование нейрофизиологического субстрата выработки условных рефлексов.

Основная задача изучения работы мозга на современном этапе могла бы быть сведена только к ана-

лизу физических или химических процессов, ответственных за установление новых временных связей. Необходимые предпосылки для решения этой задачи могли бы, очевидно, возникнуть на основе анализа биоэлектрических и биохимических процессов в отдельных нервных клетках. Таким образом, получила обоснование и развитие целостная концептуальная схема, программа изучения работы мозга.

У Вас, уважаемый читатель, может быть, все же невольно возникнет сомнение. Можно ли на этой основе подойти к расшифровке действительно сложных форм высшей нервной деятельности? Ведь работа мозга человека проявляется в форме творчества ученого, инженера, писателя и т. д. Известно, что уже на стадии восприятия информации фактически имеет место осуществление сложного процесса «наложения» на рассматриваемые объекты создаваемых в мозгу человека целостных образов. Проследите, например, за тем, как Вы ориентируетесь, входя в новое помещение. Вы не воспринимаете и не производите дальнейшего преобразования всех поступающих из внешнего мира сигналов. Это попросту невозможно. Вы сразу опознаете характер помещения: магазин, зал кино, школа, жилой дом, и затем, помимо Вашего сознания, Ваш мозг «задает» объекту восприятия последовательность «вопросов». Если это магазин, то где продавец? Мозг воспринимает только те сигналы, которые связаны с ответами на эти вопросы. Имеет место последовательная смена воспринимаемых сигналов, и в результате Вы получите представление об объекте, которое полностью соответствует целям Вашей деятельности и интересам.

В основе этого явления, очевидно, должны лежать какие-то в достаточной степени совершенные и сложные механизмы. В том случае, если Вы воспринимаете речь собеседника или слушаете радио, Ваш мозг также не воспринимает всех сигналов, соответствующих словам и тем более буквам текста. Уже на первых стадиях независимо от Вашего сознания осуществляется смысловое прогнозирование последующего текста, и в дальнейшем имеет место только сопоставление отдельных компонентов прогноза с элементами поступающего извне информационного потока. В этом легко убедиться, попробовав понять и



запомнить быстро произносимые слова, не связанные между собой смысловым содержанием.

Не менее сложен процесс дальнейшей переработки информации. Советскими учеными В. Н. Пушкиным и О. К. Тихомировым было показано, что человек способен не только создавать новые методы решения возникающих перед ним проблем, но и поновому ставить задачи, приводить их к такому виду, который допускает решение. Хорошо известна способность человека к эффективному прогнозированию результатов развития событий, к построению концепций, доказательству правдоподобия версий.

Интересно отметить, что мышление человека протекает на двух различных уровнях. Один из них — это принятие решений специалистами. Этот вид умственной деятельности во многих случаях поддается научному анализу. Существуют учебные пособия по проектированию, административной деятельности. Опытный специалист может достаточно успешно передать приобретенный им опыт ученикам. Профессиональные навыки имеют частный характер. Они формируются в процессе жизни и поэтому не могут составлять основы той информационной деятельности, которая реализуется в результате работы систем нервных клеток.

Наряду с этим существует другой уровень работы мозга. Он определяет сложные механизмы интеллектуальной деятельности. Этот уровень — уровень протекания основных процессов переработки информации — является определяющим при функционировании нейрофизиологических систем мозга. Его исследование представляет наибольший интерес для науки, но сопряжено с большими трудностями.

Задачей изучения работы мозга является выявление полной картины механизмов, которые обеспечивают переработку информации на всех уровнях, и организации субстрата, реализующего информационную деятельность.

Можно ли допустить, что в основе всех перечисленных сложных явлений работы мозга лежит выработка условных рефлексов и что субстратом, на котором реализуются эти процессы, служит образование временных связей между отдельными нервными клетками? Не слишком ли велико различие

между таким, казалось, простым понятием, как условный рефлекс, и такой сложной системой представлений, которая необходима для понимания творческой, мыслительной деятельности человека?

Эту проблему не следует упрощать, утверждают в наши дни сторонники рефлекторной теории, конечно, условные рефлексы и отдельные временные связи не существуют изолированно друг от друга. Они объединяются в сложные системы, и именно в таких организациях возникают те новые в качественном отношении явления, которые и составляют основу интеллекта человека и рассудочной деятельности животных. Но в этом случае нужно изучать, как именно возникают и функционируют такие системы, и доказать, что при их взаимодействии действительно возникают новые явления.

Кибернетика активно вмешалась в эту дискуссию. Была предложена методика для проверки правомерности концепций, связанная с построением кибернетических моделей — элементов искусственного интеллекта. Подобно тому как биохимик, раскрывающий структурные формулы веществ, может доказать правоту своей гипотезы путем осуществления искусственного синтеза сложного вещества из простых компонентов, так и физиолог может воссоздать модель исследуемого им явления, используя вычислительные машины. Если ученые достаточно полно раскрыли механизмы той или иной формы работы мозга, например способности к обучению, построению планов, то они могут подтвердить полноту анализа, используя методику искусственного синтеза. Такой путь может подсказать ученому, какие именно компоненты целостной системы еще недостаточно изучены, и наметить на этой основе проведение новых исследований.

Вторжение кибернетики в область физиологии высшей нервной деятельности привело к ломке некоторых существовавших ранее представлений. Возникло опасение, что это может привести к разрушению стройного здания, которое было создано трудами многих исследователей. Поэтому некоторые ученые весьма настороженно отнеслись к возникающему потоку новых идей. Однако в наши дни становится очевидным, что проведенная реконструкция не

только не привела к разрушению теории И. П. Павлова, а, наоборот, позволила построить более совершенное здание в этой области науки.

Как уже говорилось, при выработке условных рефлексов реализуется ряд правил, которые определяют восприятие внешних сигналов и ответы на них, т. е. закономерности взаимодействия внешней среды и организма. Эти правила можно было представить в форме специального автомата или программы для вычислительной машины и проверить, появляется ли у таких кибернетических моделей способность к формированию целесообразного поведения в новых условиях. Такое исследование могло одновременно привести как к проверке одного из важных положений теории И. П. Павлова, так и к построению элементов «искусственного интеллекта».

Были созданы модели выработки условного рефлекса. Обычно такие модели реализовывались в виде игрушек: мышей, черепах, белок. Игрушки были способны к обучению, они вырабатывали новые реакции на внешние сигналы. Например, в ответ на вспыхивание лампочки черепаха или белка могла осуществить поступательное движение вперед и захватить предмет при помощи конечностей.

На основе изучения таких моделей не удалось подтвердить возможности использования представлений о выработке условных рефлексов для объяснения сложных форм работы мозга человека и животных. Использование методов кибернетики как будто бы поставило под сомнение правомерность одного из основных положений учения И. П. Павлова — положения о возможности обеспечения механизмов формирования сложного поведения. Выяснилось, что описываемые модели «искусственного интеллекта» имели существенные недостатки. При их создании заранее нужно было определять тот сигнал, который будет играть роль условного раздражителя, и то движение, которое будет осуществляться в ответ на включение сигнала. Между тем, как известно, человек и животные в процессе обучения могут формировать новые рефлекторные реакции, связывающие любые новые сигналы и их комплексы с любыми вариантами двигательных ответов. Однако, даже если при создании моделей реализова-

лась возможность одновременного формирования большого числа условных рефлексов, способности вновь созданных автоматов было трудно сопоставить с теми явлениями, которые возникли в результате работы мозга человека и высших животных.

Одна из попыток выхода из создавшейся ситуации была связана с использованием концепции о «системности» в работе мозга. Формирование отдельных условных рефлексов не обеспечивало возникновения целесообразного поведения. Может быть, эти явления проявятся как результат построения и функционирования сложных агрегатов, объединяющих в единой конструкции большое число условных рефлексов? Была выдвинута гипотеза, что условные рефлексы объединяются в более сложные организации, в которых возникают новые в качественном отношении явления. Именно эти явления и становятся основой функционирования сложных механизмов работы мозга. Трудности, встречающиеся при использовании учения И. П. Павлова для раскрытия механизмов формирования сложных форм поведения, могут быть преодолены в результате перехода от исследования отдельных условных рефлексов к анализу закономерностей формирования и функционирования сложных систем.

Стало очевидным, что если принять эту гипотезу, то неизбежно придется решать ряд новых проблем. Каким образом вырабатываются более сложные системы условных рефлексов, как они объединяются в целостные организации, как эти организации взаимодействуют друг с другом, какую роль такие «агрегаты» играют в жизни человека и животных и, наконец, можно ли объяснить сложные формы работы мозга с точки зрения формирования систем условных рефлексов различных типов и их взаимодействия?

Проведенные исследования показали, что при изучении систем рефлексов выявляются специфические комплексы правил, которые не проявляются при выработке одиночных условных рефлексов. Такие результаты как будто бы открывали возможности для анализа механизмов формирования более сложного поведения человека и животных.

И. П. Павловым был открыт принцип подкрепле-

ния условных рефлексов безусловными как фактор, определяющий формирование нового поведения человека и животных. При изучении систем условных рефлексов было показано, что само подкрепление носит более сложный характер. Оно не только имеет «безусловный» характер, может быть не только врожденным (пища, исчезновение болевого раздражения), но и вырабатывается в процессе жизни человека и животных. Удалось показать, что в определенных условиях возникают такие сигналы, которые могут служить базой для выработки новых условных рефлексов и цепей условных рефлексов в условиях, когда отсутствует безусловное подкрепление (например, пища). Выяснилось также, что эти новые подкрепляющие раздражители объединяются в целостные организации, в которых наблюдается определенное соподчинение компонентов (иерархия). Одни сигналы играют роль «ориентиров», их включение приводит только к временной фиксации в памяти новой информации и к возникновению определенной последовательности пробных воздействий на внешнюю среду. Другие сигналы, так называемые сигналы «фиксирующего подкрепления», приводят к выработке и закреплению новых систем условных рефлексов в ситуации, когда отсутствует безусловное подкрепление (например, подкрепление пищей или исчезновение болевого раздражителя). В частности, было обнаружено, что подкрепляющими сигналами фиксирующего типа становятся компоненты рефлекса на комплексный раздражитель.

Этот вывод также содержал в себе определенные элементы новизны. Дело в том, что формирование рефлекса на комплексный раздражитель было детально изучено в работах И. П. Павлова и его учеников. Как известно, условия эксперимента предусматривали предъявление животному одновременного комплекса сигналов. Если предъявлялся комплекс, например звонок и свет, то животное получало пищу. Если предъявлялся только один раздражитель, например звонок, и не предъявлялся свет, то пища не давалась. При этом возникала способность «различения» всего комплекса от отдельных компонентов. Реакции осуществлялись только в ответ на комплексный раздражитель. В элементах, ко-

торые соответствовали компонентам комплекса, например компоненту, соответствующему включению одного звонка, возникало внутреннее торможение. Такой сигнал приобретал тормозное значение, предотвращающее возникновение рефлекторной реакции.

Экспериментальные данные, полученные при изучении систем рефлексов, в какой-то степени изменяли эту систему представлений. Было показано, что наряду с тормозным значением элемента рефлекса на комплексный раздражитель, которое проявлялось по отношению к осуществлению рефлекторной реакции, данный сигнал выполнял и активную роль, что было связано с возникновением специфического процесса возбуждения. Сигнал становился достаточной основой для формирования новых рефлекторных реакций, которые никогда непосредственно не подкреплялись пищей и в то же время не исчезали.

Детальное рассмотрение этой проблемы привело к выявлению целого комплекса правил (закономерности взаимодействия среды и организма), определяющих формирование таких систем подкрепляющих раздражителей. Наряду с этим был выявлен комплекс правил, лежащий в основе использования системы подкреплений при выработке новых систем рефлексов.

Можно ли считать, что полученные данные приводят к расшифровке механизмов формирования сложного поведения или хотя бы приблизят решение этой проблемы? Для того чтобы определить эффективность выявленных правил и полноту описания всей системы, ученые решили реализовать ее в виде специального автомата и изучить свойства созданной модели. Если такой автомат будет обладать способностью к обучению, принятию решений, то это значит, что выявлен полный набор правил. Если же результаты окажутся отрицательными, то следует провести дальнейший поиск.

Для решения этого вопроса был создан новый вариант модели «искусственного интеллекта». Студентами Московского энергетического института А. И. Лецким, В. Б. Свечинским и другими под руководством физиолога профессора С. Н. Брайнеса и инженера Ю. Н. Кушелева был построен «обучающийся автомат», который воспроизводил способность

к выработке цепей условных рефлексов. Этот автомат, подобно человеку, мог формировать поведение определенного типа.

«Обучающийся автомат» состоял из комплекса ячеек, каждая из которых включала схему формирования условного рефлекса. Объединение этих ячеек в структуру типа матрицы обеспечивало возможность перекомбинации различных действий и сигналов друг с другом. Так, фактически для любого из сигналов можно было найти нужное ответное действие. Это позволяло связать различные сигналы внешней среды с различными действиями. Однако «обучающийся автомат» имел ограниченное количество ячеек. Можно было связать только те элементы, для которых имелся специальный «вход» в систему или специальный «выход». Несмотря на это, созданная модель выгодным образом отличалась от других кибернетических систем. С ее помощью можно было увеличить диапазон используемых действий и воспринимаемых раздражителей.

«Обучающийся автомат» был продемонстрирован на Выставке достижений народного хозяйства в павильоне «Высшая школа» и привлек большой интерес посетителей. Была предпринята попытка его использования для решения практических задач. Ученые задумали на этой основе создать «диспетчера», осуществляющего управление производством каучука. Такой диспетчер, подобно человеку, должен был обладать способностью постепенно накапливать и обобщать опыт, чтобы в конце концов самостоятельно выработать программу поведения, дающую максимальный эффект при управлении производственными процессами.

Можно ли на основе использования правил формирования новых комплексов подкрепляющих сигналов подойти к объяснению механизмов сложных форм поведения человека и животных? Для решения этой проблемы были проведены специальные эксперименты. При исследовании работы созданной модели были продемонстрированы новые способности.

«Обучающийся автомат» позволил реализовать описанные выше правила в форме кибернетической модели и тем самым подтвердить полноту проведенного при изучении систем условных рефлексов на-

учного анализа. Стало понятным, что создание описанной выше системы подкрепляющих раздражителей исключает ряд трудностей, возникающих при объяснении механизмов, лежащих в основе сложного поведения. Выяснилось, каким образом возникают те новые подкрепляющие сигналы, которые определяют возможность сложных форм работы мозга, обеспечивающих приспособление человека к окружающим условиям среды.

Однако при изучении работы автомата в более сложных условиях было показано, что он не может самостоятельно приспосабливаться к новым требованиям внешней среды. На это указали, в частности, попытки практического использования автомата. В то время как человек, выполняющий работу диспетчера, постоянно приобретал опыт и адаптировался к новым условиям, автомат в этих ситуациях показывал свою неспособность к формированию нового поведения. Тем самым был поставлен под сомнение тезис о том, что формирование цепей условных рефлексов на основе описанных принципов может обеспечить процесс «уравновешивания внешней среды и организма». Если условия внешней среды были просты, то уравновешивание могло быть достигнуто. Но в реальных условиях жизни человека и животных простые ситуации встречаются редко. В более сложных условиях правила формирования цепей условных рефлексов оказывались недостаточными для того, чтобы вырабатывать новое целесообразное поведение.

Изучение работы «обучающегося автомата» привело также к выводу о том, что формирование отдельных временных связей не может являться основой формирования поведения человека и животных. Стала очевидной необходимость разработки более сложных концепций, определяющих возможность реализации процесса выработки систем условных рефлексов в нейрофизиологических структурах.

Подводя некоторые итоги сказанному, можно отметить, что использование метода кибернетического моделирования помогло ученым проверить полноту описания правил и методов, позволяющих осуществлять искусственный синтез элементов интеллекта. Было показано отсутствие возможности решения ос-



новой проблемы расшифровки механизмов информационных систем, лежащих в основе сложных форм интеллектуальной деятельности, таких, например, как способность к формированию новых концепций, построению гипотез, версий о причинах событий и к их доказательству или же распознаванию тенденций в развитии событий. И снова у исследователей возник вопрос: возможно ли это в принципе? Какие новые идеи и методы должны быть привлечены для решения этой проблемы?

## АЛГОРИТМЫ И РАБОТА МОЗГА

Итак, попытки решения проблемы расшифровки механизмов формирования сложного поведения и компонентов психической деятельности на основе изучения систем рефлексов привели к определенным трудностям. Ученые понимали, что для их преодоления необходимы новые идеи и методы, которые могли бы не просто дополнить уже имеющийся арсенал фактов, а качественным образом изменить подходы к исследованию. Начались поиски в различных направлениях. Одно из них было связано с привлечением идей кибернетики и представлений о работе алгоритмов.

Понятие алгоритма сформировалось сначала в области математики, и в течение длительного периода времени исследователи не улавливали связи между этим понятием и решением различных актуальных проблем в биологии. Только в наше время удалось обнаружить сходство различных явлений, изучаемых математикой и физиологией.

Первые представления об алгоритмах были сформулированы более тысячи лет тому назад в работах знаменитого узбекского математика Ал-Хорезми. Он описал целый ряд формальных процедур, при помощи которых можно было решать некоторые математические задачи. Такие процедуры обладали удивительным свойством. Если не использовать алгоритмы, то каждый раз приходилось выдумывать новый способ решения, на что уходило много времени и много творческих усилий. В то же время знание алгоритма, формальной процедуры, записанной в виде

комплекса последовательно осуществляемых правил преобразования данных, приводило к желаемому результату, т. е. к решению задач. Отсюда следовало и определение понятия «алгоритм».

Алгоритм — это система последовательных правил переработки информации, приводящая к решению задач определенного класса. Это понятие в настоящее время рассматривается как интуитивное, так как оно не соответствует тем требованиям, которые предъявляются к формальному описанию. Пока мы удовлетворимся такой характеристикой, и для того чтобы она стала понятной, приведем ряд примеров работы алгоритмов.

Простейшие примеры алгоритмов — это алгоритмы сложения, вычитания, деления и умножения многозначных чисел. Как известно, в этом случае следует подписать одно число под другим и, последовательно проводя операции над отдельными знаками, преобразовывать системы записей. Процедура решения задач является абстрактной, формальной, она не содержит никаких двусмысленностей. Эта процедура не может включать таких понятий, которые относятся к конкретным числам. Если бы такие понятия (например, число 126) были включены в алгоритм, то он мог бы быть применен только к определенным частным случаям решения, например к задачам деления одного конкретного числа на другое, т. е. он бы не позволял решать целый класс задач.

Другой класс алгоритмов — алгоритмы игр. Эти алгоритмы обычно относятся к категории «логических алгоритмов». Широко известны такие игры, как игра в «крестики-нолики», «побеждает чет», «поиск в лабиринте» и т. д. Оказалось, что для этих игр существуют формальные процедуры, используя которые участник игры может либо выигрывать, либо сводить игру вничью, но никогда не будет проигрывать. При наблюдении за поведением такого человека может создаться впечатление, что он обладает какими-то интересными и даже «замечательными» свойствами, какой-то способностью к игре. Между тем он использует стандартную процедуру. При этом он осуществляет эту процедуру чисто механически, не обращаясь к своим способностям творческого мышления.

В качестве примера приведем алгоритмическую процедуру, эффективную при игре «побеждает чет». В этой игре участвуют два человека. На столе лежат спички. Каждый игрок имеет право вынимать одну или две спички. Побеждает тот, у кого останется четное число спичек. Оказалось, что может быть найден алгоритм, который обеспечивает успех в игре подобного типа. Этот алгоритм может быть реализован на вычислительной машине, которая будет осуществлять игру в «побеждает чет» более успешно, чем любой человек, не знающий алгоритма. В данном случае имеет значение применение четко сформулированных систем правил. Приведем систему этих правил для игрока А.

Первый ход: А берет два предмета. Очередной ход А в случае, если Б имеет четное число предметов: оставить противнику число предметов, которое на единицу больше кратного шести (19, 13, 7); если это невозможно, то при наличии пяти или трех еще не взятых предметов взять четыре или два соответственно. Очередной ход А в случае, если Б имеет нечетное число предметов: оставить противнику количество предметов на единицу меньше кратного шести (23, 17, 11); если это невозможно, то при наличии еще трех или одного предмета следует взять три или один соответственно.

При анализе правил следует обратить внимание на то, что они не содержат каких-либо слов, относящихся к конкретной игре. Все понятия являются более общими, абстрактными, что и позволяет применять их в любых ситуациях игры.

Интересный пример применения алгоритма может быть проиллюстрирован на основе древнегреческой мифологии. Один из мифов говорит о том, что легендарный герой Тезей должен был победить чудовище Минотавра и убить его. При этом найти его нужно было в лабиринте. Ариадна дала Тезею клубок ниток, при помощи которого он нашел своего противника, выполнил поставленную перед ним задачу и затем вышел из лабиринта. Проведем описание алгоритма. Продвигаясь по лабиринту, Тезей постепенно разматывал клубок ниток, отмечая те части лабиринта, которые он уже проходил один раз или дважды. В этом и заключался смысл той помощи,

которую оказала ему Ариадна. Тезей действовал по следующей системе правил:

Признак	Характер действия
Через площадку уже протянута нить Ариадны.	Наматывание нити (движение назад).
Нить Ариадны отсутствует.	Разматывание нити (движение вперед).
Встреча с Минотавром.	Остановка. Начало поединка.
Отсутствие всех перечисленных признаков.	Наматывание нити.

Остановимся на некоторых особенностях построения и работы алгоритма. Одна из них связана с тем, что, выполняя какой-либо его компонент (правило), человек не может сказать, приближается он или удаляется, осуществляя эту операцию, от решения основной задачи. Способности алгоритма к эффективной деятельности проявляются только в системе и только тогда, когда все команды выполняются последовательно в определенном порядке. Если исключить какую-либо одну команду, то весь целостный эффект исчезнет. Таким образом, проявляется некоторое специальное свойство системы, включающей работу алгоритма, свойства целостности, «нерасчленимости».

Работа алгоритма приводит к возникновению нового в качественном отношении явления. Здесь проявляется закономерность перехода некоторых операций при их совмещении в новое качество.

Анализ работы алгоритмов различных типов и классов позволил сформулировать основные свойства алгоритмов: результативность, массовость и детерминированность.

Свойство результативности предполагает, что алгоритм решает все задачи некоторого заданного класса. Благодаря этому свойству возникает новое в качественном отношении явление.

Свойство массовости утверждает, что алгоритм решает все задачи данного класса. Если известен алгоритм, определен класс решаемых им задач, то имеется гарантия того, что любая новая задача будет

решена, если она относится к данному классу. Таким образом, при изучении проблемы создания и использования алгоритма выявляются два основных компонента: определение класса задач и отыскание процедуры решения.

Свойство детерминированности предполагает, что алгоритм описывается на таком формальном языке, представлен в виде такой четко сформулированной системы правил, что результаты его работы не зависят от того, какая именно физическая система (субстрат) будет осуществлять (реализовывать) эти правила. Например, алгоритм может быть представлен в виде работы вычислительной машины, осуществлен человеком или записан на бумаге, передан по радио, а затем реализован в компьютере другого типа. Все эти «превращения» нисколько не повлияют на результаты работы алгоритма. Это свойство оказалось чрезвычайно важным в процессе исследования. Так, если выявляется какой-либо алгоритм работы мозга, то его можно представить в форме программы вычислительной машины. Таким образом может быть осуществлено построение модели интеллектуальной деятельности определенного типа.

При рассмотрении работы алгоритмов следует обратить внимание еще на одну их важную особенность. Для своего функционирования они должны всегда иметь некоторую основу, физико-химический субстрат. Однако такой субстрат может быть различным по своей природе.

Перечисленные свойства алгоритмов создают представления о большой значимости и удивительных характеристиках его работы. В самом деле, алгоритмы, с одной стороны, могут быть описаны в виде простой последовательности правил, с другой стороны, оказываются весьма эффективными при решении различных задач. Они могут стать основой возникновения новых сложных явлений.

Описанные выше свойства алгоритмов были известны уже давно. Однако их значимость стала наиболее ярко проявляться в связи с развитием вычислительной техники. На компьютерах алгоритмы начали свою «новую жизнь», благодаря им появилась возможность воспроизведения принципиально новых явлений и процессов. Так, например, были выявле-

ны алгоритмы, эффективные при игре в шахматы и шашки, и вычислительные машины стали активно участвовать в играх. Алгоритмы оптимизации сбыта продукции, подсчета заявок на оборудование сделались основой построения специальных систем, которые оказывали большую помощь в управлении производством. То, что ранее относилось к компетенции мозга человека, к области интуитивного мышления, стало возможным представить в виде алгоритма и эффективно воспроизвести в форме программы для компьютера.

В том случае, если алгоритм записывался на бумаге в виде специальной схемы (или в виде математических символов), он был неактивным, находился как бы в некотором «анабиотическом» состоянии, в котором он сохранялся длительный период времени. Однако на другом субстрате, на ЭВМ, алгоритм демонстрировал совершенно новые результаты. Алгоритм имел определенную структуру, организацию, он как бы составлял некоторую специфическую целостность, имеющую «собственную жизнь». Эта целостность могла быть реализована на различных по своей природе субстратах. Между субстратом и алгоритмом не наблюдалось однозначного соответствия как в специфике работы блоков, так и в организации отдельных элементов. Эти особенности его работы, как мы увидим в дальнейшем, будут очень важны при изучении биологических систем.

Такое перевоплощение алгоритмов, которое произошло в связи с появлением универсальных вычислительных машин, привлекло к ним серьезное внимание исследователей различных специальностей. Раньше алгоритм создавался и использовался математиком и, таким образом, представлял собой компонент мыслительной деятельности, теперь он стал самостоятельным объектом, который связан с развитием вычислительной техники.

Если алгоритм «способен» решать определенный класс задач и воспроизведение алгоритма на вычислительной машине придает ей новые «способности», например способности к игре, к балансированию конвейерных линий, к подсчету потребностей и т. д., то не дает ли это основания для предположения о том,

что и наблюдаемая нами деятельность головного мозга также определяется работой специфических алгоритмов?

Рядом ученых была высказана мысль о том, что в процессе эволюции наряду с развитием физических, химических систем, определяющих жизнедеятельность организма, использовались также те возможности для решения задач, которые объективно существуют в природе и которые реализуются в виде создания и работы алгоритмов.

В течение длительного периода времени ученые думали о том, каким образом возникает та удивительная целесообразность и то удивительное многообразие поведения человека и животных, которые мы наблюдаем в природе. Хорошо известно, что люди в каждой новой ситуации действуют по-разному и в одних и тех же условиях выбирают различные пути решения проблемы. Каким же образом такое бесконечное многообразие форм поведения может фиксироваться в работе нервных элементов? Каким образом одна нервная клетка или совокупность нервных клеток могут участвовать в столь различных видах деятельности, обеспечивая в конечном счете все специфические особенности и многообразие психической деятельности человека? Эта загадка казалась неразрешимой. Гипотеза об участии алгоритмов в работе мозга обладала в этом отношении некоторыми волшебными свойствами. Она объясняла то, что в течение многих столетий заводило в тупик даже великих мыслителей.

Намечалось простое решение. Один и тот же алгоритм решает целый класс задач. Если алгоритм воспроизводится на вычислительной машине, то вычислительная машина приобретает способность к «порождению» большого многообразия конкретного поведения. Например, если алгоритм реализован в вычислительной машине и лежит в основе способности к игре в шахматы, шашки, «побеждает чет», то в каждой ситуации его работа проявляется по-разному. В то же самое время в основе формирования поведения системы в этом случае лежит одна четкая и относительно простая система детерминированных правил (при этом проявляется одно из замечательных свойств алгоритмов — свойство массовости).

На этой основе находит объяснение возможность формирования большого разнообразия целесообразного поведения. Можно предположить, что на самом деле при работе нервных клеток и нервных центров это многообразие форм поведения не фиксируется. Головной мозг реализует только работу алгоритмов. А последние в процессе своей деятельности, в условиях, когда организм сталкивается с разными конкретными ситуациями, продуцируют (воспроизводят) различные формы поведения. Создавалось впечатление, что найдены ключи к расшифровке одной из самых сокровенных и, казалось бы, неразрешимых загадок природы. Так, появилась и начала развиваться концепция об алгоритмах биологических систем, об алгоритмах работы мозга.

Хорошо известны те весьма совершенные формы адаптации, которые возникли в процессе эволюции. Сложность кровеносной системы, системы пищеварения, системы биохимических процессов организма давно уже стала предметом пристального внимания и глубокого исследования биологов. Почему же до сих пор физиологи проходили мимо возможностей, которые открываются в связи с функционированием алгоритмов? Ведь представление об алгоритмах существует более 1000 лет. Простой скачок от анализа математических проблем к проблемам изучения живых организмов был невозможен в течение длительного периода времени (многих столетий), хотя в этом случае не существовало никаких принципиальных трудностей. Только тогда, когда реализация алгоритмов начала осуществляться на вычислительных машинах и стали понятными те новые явления, которые возникают при этом, исследователи-биологи обратили на них внимание.

В настоящее время концепция алгоритмического анализа биологических систем находится в центре внимания многих исследователей. Ей посвящаются книги, семинары и научные конференции. В этом направлении успешно работают коллективы исследователей в Москве, Киеве, Ростове-на-Дону и других городах под руководством профессоров Н. М. Амосова, Н. Ф. Суворова, А. Б. Когана и др. Эта концепция открыла новые широкие перспективы. Можно сказать, что она позволяла надеяться на раскрытие



таких тайн природы, которые ранее казались глубоко скрытыми в недрах организации живых систем.

Вместе с тем концепция об алгоритмах работы мозга выдвинула целый ряд новых весьма сложных проблем науки. В тот период, когда алгоритмы составляли предмет изучения математиков, главной задачей было их создание и использование. Сам процесс создания алгоритмов не стал предметом специального научного изучения, так как считалось, что алгоритм может открыть только математик, обладающий большими творческими способностями.

При изучении алгоритмов биологических систем необходимо было выяснить, как выявить те алгоритмы, которые уже существуют в работе мозга и которые были созданы в процессе эволюции. Задача эта весьма сложная. Трудность связана с описанными выше свойствами алгоритма, в частности со свойством массовости. Один и тот же алгоритм при своем функционировании приводит к большому разнообразию конкретных форм поведения. В каждой конкретной ситуации он проявляется по-разному. Это замечательное свойство создавало существенные препятствия при изучении алгоритмов и ставило трудные проблемы перед исследователями. Особенности проявления алгоритма в различных условиях приводят к «маскировке» основной его структуры и закономерностей работы. Так, например, если наблюдать работу алгоритма игры в шахматы, реализованного на вычислительной машине, то можно убедиться в том, что в каждой конкретной новой ситуации игры он действует по-разному. Поэтому на основе анализа различных форм поведения очень трудно восстановить истинную природу алгоритма. Обычные методы исследования, например методы статистической обработки полученных данных, не оказываются в данном случае результативными. Алгоритм записан на специальном языке. Для того чтобы сформулировать правила его работы, нужно прежде всего открыть тот язык, те понятия более высокого уровня абстракции, которые составляют основу работы алгоритма.

Для более детального изучения этого явления были проведены специальные эксперименты. На вычислительной машине реализовывался тот или иной ал-

горитм игры, например алгоритм игры «побеждает чет». Затем испытуемому предлагалось провести исследование работы данной машины и выявить, на основании каких правил и принципов машина приобретает способности осуществлять успешную игру. При этом разрешалось проводить любые эксперименты и статистически обрабатывать данные. Однако такой эксперимент не давал положительных результатов. Можно было выявить некоторые корреляции между действиями вычислительной машины и специфическими особенностями возникающих в игре ситуаций и сделать некоторые выводы, но при внимательном рассмотрении выяснилось, что эти выводы не имеют под собой реальной основы. Они ошибочны и не приближают к пониманию основных механизмов деятельности, т. е. к раскрытию алгоритма. Они часто даже уводят в сторону от раскрытия истины.

Описанные эксперименты привели к весьма существенным и неожиданным выводам. Создавалось впечатление, что применяемые в настоящее время в биологии при изучении мозга методики исследования, основанные на постановке эксперимента и статистической обработке экспериментальных данных, в принципе не могут стать основой выявления алгоритма, а между тем часто именно алгоритм определяет сущность явления. Возникло предположение, что до сих пор исследователи не имели ключей для разгадки одной из важнейших тайн природы — раскрытия механизмов информационной деятельности.

Следующая категория трудностей была связана с тем, что алгоритм как целостная организация описывается на таком языке, который позволяет реализовать эту систему на различном физико-химическом субстрате. Субстрат может обеспечить работу различных алгоритмов, и в то же самое время каждый алгоритм может быть реализован на различной физико-химической основе, т. е. сама организация субстрата не связана со спецификой организации и работы алгоритма, она только создает условия для его функционирования. Таким образом, изучение морфофизиологических и физико-химических механизмов работы мозга также не могло привести к раскрытию алгоритмов. Между тем в течение многих десятков

лет исследователи пытались выявить принципы управления и переработки информации на основе изучения организации физических и химических систем. Ученые исходили из предположения о том, что если они изучают передачу возбуждения с одной нервной клетки на другую, реакции нейронов на различные, подаваемые извне сигналы, то они проводят анализ систем переработки информации. Они полагали, что последовательное развитие таких исследований, накопление новых фактов, использование все новых и новых более тонких и точных методических приемов в конечном итоге должно привести к полной расшифровке механизмов деятельности мозга, включая и работу информационных систем.

Исследования в области молекулярной биологии, генетики, эмбриологии основывались также на том, что анализ биохимических процессов (например, процессов синтеза белка) в конечном итоге раскроет информационную сущность явления. Молекулярная биология рассматривалась как определенный раздел биохимии. Поэтому в течение длительного периода времени не возникала необходимость в каких-либо дополнительных подходах к исследованию, поиску новых методов.

Анализ основных свойств алгоритмов обуславливал необходимость пересмотра описанных выше тенденций в развитии науки. Стало очевидным, что изучение субстрата информационной деятельности не обеспечивает полного анализа механизмов и, в частности, выявления алгоритмов. Для того чтобы понять работу механизмов, надо было выявить как закономерности работы алгоритмов, так и принципы организации субстрата, реализующего их деятельность.

Существенные трудности при выявлении алгоритмов объяснялись также их свойством целостности, тесно связанным с другими свойствами: массовости и результативности. Дело в том, что часто при исследовании явлений и процессов обнаружение хотя бы одного звена целостной системы уже приводит к возможности оценки его результативности. Становится понятным, что избран правильный путь исследования. Другая картина возникает при изучении алгоритмов. В данном случае обнаружение какого-либо

одного правила или одной закономерности еще не позволяет определить, как будет работать система в целом. Остается непонятным, приближает ли раскрытие этой закономерности к разгадке основной тайны явления природы, т. е. к раскрытию алгоритма, или нет. Пока не выявлен весь алгоритм, ничего нельзя сказать об эффективности самого пути исследования. Эти особенности работы алгоритма приводили к тому, что обычные методы, основанные на разделении изучаемой системы на части, на последовательном детальном исследовании отдельных компонентов, а затем и их частей, оказывались малорезультативными. Нужно было каким-то образом выявить все компоненты, объединить их в целое, а потом проверять эффективность целостной системы. Только после этого можно сказать, правильно или неправильно было проведено исследование.

Возникали также трудности, связанные со спецификой алгоритма как динамической системы. Мы уже говорили о том, что алгоритм приобретает свои замечательные свойства только после того, как он реализуется на некотором физико-химическом субстрате специального типа (например, на ЭВМ). До этого алгоритм, записанный на бумаге, может казаться «мертвым», неработоспособным, т. е. никак не проявлять себя. В связи с этим до тех пор, пока исследователи не получили возможность реализовать алгоритмы работы мозга на вычислительных машинах, выявление и изучение алгоритмов оказывалось невозможным. Не было той среды, в которой можно было проверять эффективность алгоритмов. Алгоритмы функционировали в разных биологических системах, однако они были замаскированы частными проявлениями, частными свойствами. Их нужно было выделить не только в «чистом», но и в «активном» виде, перевести на специальный субстрат, для того чтобы изучить и понять их свойства.

Специфику этой проблемы можно пояснить на примере, который, казалось бы, весьма далек от изучения механизмов работы мозга. Речь идет о развитии микробиологии. После того как была создана концепция о том, что в основе ряда болезней лежит функционирование микроорганизмов, одной из самых актуальных задач оказалась задача выделения куль-

туры микробов в чистом и активном виде, для того чтобы понять их свойства, цикл развития. Как известно, в этом случае пришлось создавать специальные среды для культивирования микроорганизмов типа агар-агара, мясного бульона и др. И только когда удалось воспроизвести размножение микробов в «чистом виде», оказалось возможным развитие микробиологии.

Такая же проблема выделения алгоритмов «в чистом виде» возникла при изучении мозга. Исследуя психическую деятельность человека, формирование поведения животных, ученые неизбежно сталкивались с таким большим разнообразием конкретных условий, конкретных форм поведения, что выявление общих закономерностей было невозможно.

При изучении систем условных рефлексов удалось выявить лишь отдельные закономерности. Для того чтобы изучить свойства алгоритма как целого явления, нужно было не только выделить правила, но и обеспечить некоторую среду искусственного типа, в которой алгоритмы могли бы функционировать, проявлять все свои свойства, взаимодействуя друг с другом, развиваться и, как мы увидим дальше, «размножаться». Только в таких средах можно было организовать эффективное изучение функционирования информационных механизмов. Основой для выделения алгоритмов «в чистом виде» стало использование вычислительных машин.

В дальнейшем, однако, оказалось продуктивным создание таких средств символического описания и таких методов преобразования символов, которые также позволили рассмотреть работу алгоритмов и информационных механизмов. Такие методы абстрактного описания имели определенные преимущества, так как с их помощью можно было более четко проследить не только закономерности функционирования, но и все этапы и детали формирования и «творческой жизни» алгоритмов.

Таким образом, использование теории алгоритмов в биологии привело к существенно новым результатам. Оказалось, что до сих пор наука не обладала эффективными методами раскрытия одного из сложнейших явлений природы — механизмов переработки информации. А между тем именно алго-

ритмы обеспечивали те удивительные способности, которые свойственны живым организмам. Можно было думать, что алгоритмы определяют адаптацию работы внутренних органов к новым условиям, сложное управление, позволяющее координировать работу печени, сердца, легких и других органов в единой системе, обеспечивают работу эндокринной системы. Информационные системы лежат в основе процесса индивидуального развития организма и эволюции, работы мозга. Возникло сомнение в возможностях в современных условиях решать проблему изучения переработки информации, так как отсутствуют методы проникновения в тайны работы алгоритмов.

Описываемые проблемы, видимо, оказываются актуальными только при изучении сложных систем. Работа алгоритмов, по-видимому, «привлекалась» в процессе эволюции только в достаточно сложных условиях. Простейшие механизмы, например работа нервной системы низших животных, используют более простые принципы организации, в которых программы поведения непосредственно реализованы в структуре нервных элементов. Для объяснения такого соотношения удобно обратиться к примеру развития вычислительной техники. На первом этапе формирования вычислительных систем (арифмометров) создавались механические устройства типа системы шестеренок, которые производили сложение и умножение многозначных чисел. В таких случаях изучение организации субстрата могло привести к полному раскрытию механизмов работы системы.

Однако арифмометры не обеспечивали возможности осуществления сложных форм информационной деятельности. Развитие современной вычислительной техники началось после того, как был введен новый принцип — принцип отделения структуры программ от структуры реализующих их деятельность физических устройств. Были созданы универсальные вычислительные машины, которые обеспечивали возможности реализации и функционирования программ разного типа. Дальнейшее развитие вычислительной техники шло по линии все большего отделения информационной структуры (математического обеспечения) от физической организации компьютера. В некоторых случаях применяемые ранее методы биологии

оказываются эффективными. Это и создавало в прошлом ошибочное представление об их универсальном значении.

При изучении алгоритмов биологических систем возник целый ряд новых проблем. Одна из них — проблема выявления алгоритмов, которые уже существовали в природе и использовались при работе мозга. Необходимо было также изучить процесс формирования новых алгоритмов при работе мозга, выяснить, как возникают те задачи, которые предопределяют работу алгоритмов, почему и как проявляются основные их свойства. Так, например, возникал вопрос о происхождении алгоритмов, используемых при игре в шашки, шахматы, при игре в «побеждает чет», «крестики-нолики» и т. д. Можно было предположить, что во всех этих объектах существует какая-то скрытая структура, которая недоступна простому анализу, и именно эта структура приводит к возникновению задач, решаемых при помощи алгоритма. Эти проблемы заинтересовали физиологов, философов, психологов, биологов и математиков.

#### АЛГОРИТМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ УЧЕНИЯ И. П. ПАВЛОВА

Развитие современных представлений о роли алгоритмов позволило более полно оценить значение учения И. П. Павлова. В прошлом было принято подчеркивать, что И. П. Павлов создал объективный метод изучения работы мозга, основанный на использовании физиологических способов проведения эксперимента. В наши дни стала возможной более широкая постановка и трактовка этого учения.

В течение многих столетий ученые делали попытки раскрыть тайны интеллектуальной деятельности. Однако они использовали такие понятия, как «постановка цели» (целеполагание), «анализ ситуации», «построение гипотезы». При этом казалось естественным исходить из представления о том, что мышление человека всегда предметно и осмысленно. В основе мышления лежит слово, речь. Если исключить из рассмотрения «содержание», «смысл», произойдет потеря предмета исследования, совершится переход от анализа интеллекта к выяснению каких-то очень про-

стых, общих для человека и животных форм поведения.

Такие традиции предопределяли и специфику организации экспериментов. Так, в опытах известного исследователя поведения животных В. Келлера обезьяны, для того чтобы достать фрукты, подвешенные к потолку экспериментальной камеры, должны были составить ящики в форме пирамиды или же соединить вместе палки. В ходе эксперимента проводилась точная регистрация всех действий животного. Опыт показал, что животные не осуществляют беспорядочных пробных действий. В случае неудачи они некоторое время сидят неподвижно, как будто бы «обдумывают», «анализируют» свои ошибки, а затем, вновь приступая к деятельности, демонстрируют наличие нового целостного плана. Было показано, что обезьяны обладают зачатками способностей к орудийной деятельности, что позволило сделать вывод о наличии у высших животных целостных систем образов (гештальтов), которые используются ими при формировании поведения.

Известная советская исследовательница Н. А. Ладыгина-Котс с целью более полного изучения особенностей «мышления» человекообразных обезьян воспитывала детеныша шимпанзе вместе со своим сыном. Логика эксперимента в этом случае основывалась на стремлении исключить влияние различных факторов внешней среды на формирование интеллекта и выявить таким образом основные, существенные отличия в работе и развитии механизмов мышления. Удалось описать большое количество фактов, характеризующих специфику поведения ребенка и детеныша шимпанзе в тех или иных сходных ситуациях. Однако различие в работе механизмов работы мозга выявить не удалось.

Результаты приведенных выше зоопсихологических исследований очень интересны. Они раскрывают специфику работы мозга различных животных, позволяют понять этапы эволюционного развития интеллекта. Однако при этом не удается ответить на вопрос, какие механизмы лежат в основе способности шимпанзе строить новые планы поведения, что такое «гештальты», как они образуются.

В психологических экспериментах использовались



методики, позволяющие анализировать поведение человека в тех или иных ситуациях, регистрировать движения глаз, например перемещение взгляда испытуемого в процессе игры в шахматы. Однако при этом оказывалось, что в различных ситуациях и на различных стадиях игры динамика рассмотрения человеком шахматного поля различна. Обработка полученных в эксперименте данных приводила к интересным результатам, например были выявлены специфические особенности тактик рассмотрения, используемые опытными и начинающими игроками, но не удавалось выявить правил, отражающих основные, инвариантные механизмы работы мозга.

И. П. Павлов разработал другой путь исследования. Он исключил из опыта конкретные объекты (палки, ящики), с которыми животные встречались уже раньше в процессе жизни и по отношению к которым уже имелся некоторый опыт, а также исключил «осмысленные» ситуации в опытах на человеке. Он использовал такие сигналы, как, например, свет. Сама физическая их природа не имела при этом значения. Было важно только их соотношение друг с другом. Например сигнал — вспышка белой лампочки — появлялся перед тем, как животное получало пищу. В других опытах создавалась ситуация, при которой пища в кормушке появлялась тогда, когда белая лампочка и звонок включались одновременно. Если же включались только белая лампочка или только звонок, то пища не появлялась. Такие соотношения взаимного дополнения сигналов, как известно, определяли выработку рефлекса на комплексный раздражитель.

Что же достигалось при помощи данной методики и что при этом терялось?

Достигалась возможность обнаружения общих правил работы мозга, которые были применимы в любых конкретных ситуациях и не зависели от того, имело ли животное дело с ящиками или палками. Исключалось маскирующее влияние, которое вносили частные ситуации, и открывались пути для выявления основных законов информационной деятельности. Терялась возможность рассмотрения сложных целостных интеллектуальных процессов. Опыты И. П. Павлова носили аналитический характер. Они

как бы вычленили из сложных систем реальных процессов отдельные части и обеспечивали их детальное, точное исследование. Однако при этом оставались открытыми вопросы о том, выявлены ли правила работы мозга. Достиг ли эксперимент того уровня, на котором можно объяснить, например, механизмы работы мозга обезьяны, которая строит планы для того, чтобы, взобравшись на пирамиду из ящиков, достать фрукты?

После того как мы познакомились с проблемами, возникающими при изучении алгоритмов работы мозга, мы можем с новых позиций оценить различие между методами, разработанными И. П. Павловым, и психологическими подходами к исследованию. Становится понятным, что методики, основанные на использовании конкретных объектов и понятий, не могут привести к раскрытию алгоритмов. Они обеспечивают выявление и описание только частных «внешних» результатов их деятельности. Таким образом, оказываются закрытыми пути и расшифровки механизмов работы мозга. Вместе с тем методика И. П. Павлова, основанная на абстрагировании от конкретных свойств объектов, может обеспечить выявление отдельных компонентов алгоритмов, правил работы мозга. Однако и она не раскрывает структуру алгоритма полностью.

Очевидно, что каждая из описанных методик самостоятельно не решала проблемы полного анализа механизмов поведения. Необходимо было их комплексное использование. На первом этапе нужно было изучить целостное комплексное явление, на втором — поставить аналитические эксперименты, а на третьем — доказать полноту проведенного анализа, вновь возвращаясь к целостному эксперименту.

В наше время описанная схема исследования обогащается за счет использования средств кибернетики и построения элементов искусственного интеллекта. После того как оказываются выявленными правила работы мозга, они должны быть представлены в виде алгоритма и реализованы в форме программы для вычислительной машины. Изучение работы такой «кибернетической системы» позволяет выяснить, возникает ли в этом случае в модели способность живых организмов к обучению или приня-

тию решения; если нет, то проводится анализ причин и организуется дополнительное аналитическое экспериментальное исследование.

Представления о необходимости организации комплексных исследований описанного типа пришли в науку не сразу. Им предшествовал период, когда сторонники каждого из перечисленных подходов доказывали преимущество используемого ими метода и отрицали достоинства другого. Между тем комплексный подход уже давно продемонстрировал свою эффективность при развитии других отделов науки и был детально изучен в области марксистско-ленинской теории познания. Известно, что, для того чтобы понять, как устроена такая сложная оптическая система, как глаз человека, было необходимо предварительное изучение простых «искусственных объектов» исследования типа систем линз. На таких объектах выявлялись общие, инвариантные по отношению к специфике частных оптических систем законы преломления света. Затем удалось подойти к анализу работы существующих сложных оптических систем и к построению полезных для человека приборов. Очевидно, что споры о том, какой метод лучше — метод выявления законов на основе использования систем простых, искусственно созданных линз или метод анализа работы целостной зрительной системы человека — в наши дни не имеет никакого смысла. Оба подхода необходимы. Они дополняют друг друга, создавая целостную систему.

Методы, используемые психологами и зоопсихологами, и методы, предложенные И. П. Павловым, в наши дни должны, видимо, рассматриваться как различные аспекты единого процесса исследования.

Следует подробнее остановиться еще на одной важнейшей особенности учения И. П. Павлова. Мы уже говорили о том, что И. П. Павлов исключил из рассмотрения конкретные свойства объектов, а также анализ тех частных закономерностей, которые, например, определяют возможность построения пирамиды и устойчивость. Между тем поведение животных основано на раскрытии и использовании именно этих частных закономерностей. Можно ли, исключив их из рассмотрения, понять, как же происходит решение животным задачи? Можно ли счи-

тать, что свойства предметов, объектов окружающего нас мира не существенны, что ими можно пренебречь в исследовании работы мозга? Видимо, такой вывод привел бы к ошибкам. Как же тогда объяснить те положительные результаты, которые удалось достигнуть И. П. Павлову?

Поднятый нами вопрос относится к одной из важнейших проблем теории познания — проблеме использования абстракции в изучении окружающей нас действительности. На многочисленных примерах было показано, что эффективные результаты достигаются в том случае, если удается абстрагироваться от несущественных, маскирующих основной процесс элементов и свойств изучаемых объектов. Однако значение абстракции заключается не только в исключении чего-то лишнего, а в выявлении той «сущности явлений», которая не может быть раскрыта непосредственно в эксперименте.

Ф. Энгельс писал: «Паровая машина явилась убедительнейшим доказательством того, что из теплоты можно получить механическое движение. 100 000 паровых машин доказывали это не более убедительно, чем одна машина, они только все более и более заставляли физиков заняться объяснением этого. Сади Карно первый серьезно взялся за это, но не путем индукции. Он изучил паровую машину, проанализировал ее, нашел, что в ней основной процесс не выступает *в чистом виде*, а заслонен всякого рода побочными процессами, устранил эти безразличные для главного процесса побочные обстоятельства и сконструировал идеальную паровую машину (или газовую машину), которую, правда, так же нельзя осуществить, как нельзя, например, осуществить геометрическую линию или геометрическую плоскость, но которая оказывает, по-своему, такие же услуги, как эти математические абстракции: она представляет рассматриваемый процесс в чистом, независимом, неискаженном виде»<sup>1</sup>.

В наши дни эти важнейшие положения, связанные с выявлением роли абстракции, были развиты в трудах советских ученых. Известный исследователь

---

<sup>1</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч., 2-е изд., т. 20, с. 543—544.

в области теории познания С. Л. Рубинштейн писал: «Абстракция... менее всего заключается в субъективном акте негативного порядка — не учета, не обращения внимания на те или иные обстоятельства; она состоит в выявлении того, какими выступают вещи, явления и их зависимость от других явлений, когда выключаются маскирующие или видоизменяющие их внешние обстоятельства. Собственные внутренние свойства вещи — это те, которые выступают в «чистом виде», когда выключается маскирующий их эффект всех привходящих обстоятельств, в которых они обычно бывают даны в восприятии. Эти собственные, внутренние свойства вещи в отличие от осложненной привходящими обстоятельствами формы их проявления на поверхности действительности и составляют то, что обычно на философском языке обозначают как «сущность» вещей, их существенные свойства в их закономерных связях»<sup>2</sup>.

Построение абстрактных систем связано с преодолением серьезных трудностей. Этот процесс не может быть осуществлен на основе простого обобщения имеющихся фактов и использования сложившихся в той или иной области науки систем понятий и языка описания явлений. Так, например, на определенном этапе изучения движения небесных тел имело место непосредственное наблюдение за движением отдельных планет. Ученым в этот период времени, наверное, показалось бы странным, если бы им сказали, что успехи в развитии этой области науки будут достигнуты на основе построения абстрактной теории, которая не будет рассматривать данные о движении каждой планеты в отдельности. При этом не будут использоваться и созданные ранее понятия, например, названия планет. Однако мы знаем, что решить многие проблемы удалось благодаря построению абстракции. На основании созданной Ньютоном теории оказалось возможным вывести как следствие все выявленные ранее закономерности и сделать точный расчет траектории движения небесных тел. Конкретное исследование движения каждой планеты потеряло свое значение. Далее в результате создания

---

<sup>2</sup> Рубинштейн С. Л. Бытие и сознание. М., 1957, с. 107—108.

А. Эйнштейном теории относительности была создана теория еще более общего типа.

В чем же заключалось значение учения великого советского исследователя И. П. Павлова? В том, что он установил соотношение условного рефлекса и временной связи, или в том, что он создал экспериментальные методы, позволяющие учитывать количественную сторону процесса формирования условного рефлекса? Да, безусловно, это было очень важно! Однако наиболее существенным моментом, по нашему убеждению, являлось то, что он ввел элемент абстракции в изучение работы мозга. Учение И. П. Павлова позволило абстрагироваться от конкретного смыслового значения, исключить маскирующие основной процесс факторы и создать возможность изучать общие инвариантные законы и механизмы деятельности мозга, понять скрытую от непосредственного восприятия сущность явления. И так же, как это было в прошлом, в наши дни трудно понять, каким образом, изучая интеллектуальную деятельность человека, можно абстрагироваться от смысловой, содержательной стороны явления, исключить использование таких понятий, как «решил», «поставил цель», и др. Однако такой переход неизбежен для того, чтобы понять истинные механизмы работы мозга.

Следует отметить, что построение абстрактных систем не означает отход от анализа конкретных фактов. После того как на основе использования этого метода удастся выявить общие законы и механизмы явления, осуществляется возврат к рассмотрению реальности. Важно увидеть проявление законов в конкретной действительности, применить их в практической деятельности человека. Так, например, эффективность теоретической механики была доказана в результате применения выявленных общих законов к анализу движения конкретных небесных тел, а в наши дни — на основе расчета траекторий движения спутников.

Теория И. П. Павлова не составляет в этом отношении исключения. Ее сила и значимость определяются созданием абстрактной системы, возможностью абстрагироваться от конкретных свойств объектов. В результате удалось выявить общие законы

работы мозга. Однако это не исключает необходимости рассмотрения реальных форм поведения, в которых следует показать роль и конкретное воплощение работы полученных закономерностей.

Вернемся теперь к проблеме выявления алгоритмов. Основные трудности их изучения заключались в том, что специфика частных форм поведения (внешнего проявления) приводила к маскировке лежащих в их основе алгоритмов. Естественно напрашивается вывод о том, что единственный путь преодоления этих трудностей — построение абстрактных систем, которые могли бы обеспечить представление рассматриваемых процессов и явлений (работы алгоритмов) в чистом, неискаженном виде. Вместе с тем становится очевидным, что построение такой абстрактной системы и составляет одну из существенных особенностей учения И. П. Павлова. Таким образом наметились общие проблемы в различных областях науки. Выявляемые в опытах правила работы мозга, например, правила формирования новой системы подкреплений, правила использования этой системы при формировании нового поведения, обладали многими свойствами, которые определяют работу алгоритмов. Эти правила оказывались детерминированными. Их сущность не зависела от того, какая именно система будет реализовывать эти правила. Совокупность правил обеспечивала формирование нового поведения в различных конкретных условиях среды, т. е. решение определенного класса задач (свойство массовости).

Появление способностей к исследовательской деятельности, обучению и формированию нового поведения можно было рассматривать как некоторое качественно новое явление, возникающее при работе совокупности правил. Таким образом, можно было говорить и о наличии свойства результативности.

Новые тенденции в развитии науки, связанные с изучением систем условных рефлексов и использованием методов кибернетики, привели к более полной оценке значимости учения о высшей нервной деятельности для развития современной науки. Справедливость этих выводов подтверждалась сходством между результатом, полученным при изучении

системы условных рефлексов, и определением понятия «алгоритм».

Вместе с тем концепция алгоритмического анализа давала возможность понять причины возникших ранее трудностей и наметить пути их преодоления. Мы говорили о том, что при изучении систем условных рефлексов было трудно определить полноту выявленных правил и понять, действительно ли эти правила результативны. Концепция работы алгоритмов позволяла решить эти проблемы. В том случае, если правила объединялись в алгоритм и доказывалась эффективность работы алгоритма, можно было говорить об определенной завершенности процесса исследования.

Мы упоминали также о трудностях, возникающих в связи с изучением соотношения правил работы мозга и реализующих их осуществление нейрофизиологических механизмов. Преодолеть их позволяла концепция алгоритмического анализа. Алгоритм мог быть реализован на различном физико-химическом субстрате, поэтому его структура не обязательно совпадала с организацией физико-химической системы. Возникло предположение о том, что в процессе эволюции головного мозга был использован более сложный принцип организации, который предусматривал отсутствие прямого соответствия между выработкой условного рефлекса и формированием определенной временной связи.

Казалось бы, находила свое решение проблема соотношения информационной деятельности и организации нейрофизиологических систем живых организмов. В процессе исследования было выявлено большое количество алгоритмов, которые в целом, как совокупная система, реализовались на физико-химическом субстрате. При этом морфофизиологическая система головного мозга приобретала специфические новые функции. Она не была связана непосредственно с реализацией процесса обучения, памяти, принятия решения, формирования систем условных рефлексов. Ее функции определяли другие задачи, задачи создания условий для работы алгоритма.

Подобно тому как устройство универсальной вычислительной машины было рассчитано на работу



различных программ, по-видимому, и при функционировании мозга решалась задача обеспечения совокупности работы многих алгоритмов, что исключало возможность непосредственной связи организации морфофизиологического субстрата информационной деятельности с каким-либо одним информационным механизмом. Сложные формы психической деятельности, в том числе явления обучения, памяти, исследовательской деятельности, поведение животных, возникали не непосредственно в результате работы нервных центров, а как следствие функционирования большого количества алгоритмов.

Приведенное выше более полное понимание учения И. П. Павлова поставило перед учеными новые вопросы. Стала очевидной необходимость выявить все основные правила работы мозга и закономерности, определяющие его взаимодействия с внешним миром, и доказать, что в результате их совокупной деятельности возникают такие явления, как способность человека к принятию решений, к построению новых систем понятий, концепций. Все более настойчиво давала о себе знать проблема построения таких форм аналитических экспериментов, которые бы в абстрактном виде отражали все особенности работы мозга человека и животных в различных реальных условиях. Наконец, определилась задача выявления элементарных единиц информационной деятельности и доказательство того, что все сложные формы работы мозга могут быть представлены как результаты взаимодействия конструкций, которые состоят из этих единиц.

При использовании учения И. П. Павлова для анализа сложных форм работы мозга было необходимо усовершенствовать методику исследования. В опытах И. П. Павлова были реализованы достаточно простые формы соотношения внешней среды и организма. Подавались отдельные сигналы, которые сочетались с появлением безусловного подкрепления (с удовлетворением какой-либо потребности животных). Фактически имело место изучение работы мозга только в условиях внешней среды, в которых присутствовали изолированные причинно-следственные отношения.

Если все сигналы обозначить буквами  $a_1, a_2, \dots$ ,

$a_n$ , а действия — буквами  $b_1, b_2, \dots b_m$ , то эти отношения можно представить схемой  $a_1 \rightarrow b_1 \rightarrow$  подкрепление. Такие условия реальной внешней среды встречаются относительно редко. Чаще всего человек и животное сталкиваются с наличием сложной системы взаимосвязей между явлениями и объектами и возможностью осуществления живыми организмами воздействий на внешний мир. Так, большое значение имеют отношения взаимозаменяемости, взаимного дополнения и взаимного исключения компонентов. Примеров таких отношений можно привести очень много. Например, наличие определенных веществ может привести к торможению целой системы химических реакций (отношение взаимного исключения).

Для того чтобы изучить основные законы высшей нервной деятельности, оказалось необходимым перейти от рассмотрения таких конкретных примеров отношений к их абстрактному представлению в виде целостной модели, к описанию таких условий среды, в которых данные отношения объединялись бы в более сложные системы.

# МОЗГ ЧЕЛОВЕКА, МЫШЛЕНИЕ И КИБЕРНЕТИКА

Применение кибернетики при изучении работы мозга сделало понятным, какие могучие «бастионы» предстояло взять при штурме новых вершин науки, как надежно Природа укрыла от человека свои тайны.

Человек и животное при помощи активных действий изменяют характер внешней среды. Оценивая результаты своих действий, они совершенствуют программы дальнейшего поведения. Если изолировать организм от внешнего мира или изучать системы простых воздействий, например в виде комплексов подаваемых в опыте сигналов, то работа мозга прекратится и исследователь будет иметь возможность изучать только субстрат, созданный для протекания процессов, но не сами процессы. Активная работа системы в этом случае ускользнет от взора экспериментатора. Возникает требование одновременно изучать процессы переработки информации, протекающих как в головном мозгу, так и во внешней среде. Это требование, как известно, было сформулировано еще И. М. Сеченовым, который указывал, что рассмотрение процессов во внешней среде должно быть включено в само определение понятия «живой организм».

Проблема не потеряла своего значения и в настоящее время. Исследования в области высшей нервной деятельности и нейрофизиологии до сих пор основаны на том, что в ходе эксперимента подаются отдельные сигналы или их простые сочетания, анализируется активность нервных клеток, выявляются правила, определяющие реакции на сигналы. Конечно, такая форма исследования вынужденна. Любое усложнение эксперимента приводит к таким противо-

речивым результатам, которые не поддаются анализу.

При изучении работы мозга ученые встретились также с проблемой многообразия частных проявлений правил и алгоритмов работы мозга. Хорошо известно, что человек в каждой новой ситуации действует по-разному. Люди различного темперамента, опираясь на свой жизненный опыт, избирают специфические пути решения одних и тех же проблем. Трудно представить себе, что в основе этого многообразия лежат общие законы, в структуре которых оказывается predetermined каждая операция. Непосредственный переход от описания различных форм поведения и обобщения полученных результатов к раскрытию лежащих в основе мышления закономерностей переработки информации не представляется возможным. Задачу раскрытия алгоритмов нужно было как-то решать.

Трудности возникают также в связи с целостностью изучаемых процессов. Здесь проявляются противоречия: пока не выявлены компоненты исследуемого явления, нельзя говорить о принципах целостной организации системы. Однако, если отсутствует общая схема, трудно осуществить не только определение значимости компонентов, но и организовать их планомерное выявление. Эти трудности могут быть преодолены только на основе построения и использования абстрактной теории.

Развитие кибернетики привело к возможности отыскания способов преодоления этих трудностей при изучении работы мозга. Один из путей решения был связан с разработкой методики выявления алгоритмов работы мозга.

#### ПУТИ ВЫЯВЛЕНИЯ АЛГОРИТМОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РАБОТЫ МОЗГА

Как уже отмечалось, при выявлении алгоритмов работы мозга возникают трудности. Какова же их природа? Попытаемся ответить на этот вопрос на основе рассмотрения конкретных примеров. Выше мы привели рассмотрение работы алгоритма при игре в «побеждает чет», «поиск в лабиринте» и др.

Мы рассмотрели условия эксперимента, в котором один из игроков выучивал и использовал алгоритм игры, а другой — выполнял функцию экспериментатора, стремящегося выявить алгоритм.

Воспользуемся этой игрой для дальнейшего рассмотрения возможных путей выявления алгоритмов. Представим себя в качестве исследователя, который получает большое количество данных о конкретном поведении человека, знающего и использующего алгоритм при игре «побеждает чет». Каким образом можно перейти от этих данных к выявлению правил, например приведенного нами ранее правила «бери количество предметов на единицу больше кратного»? Мы можем еще раз убедиться в том, что путем непосредственного обобщения данных эксперимента и статистической их обработки это правило выявить не удастся. Однако попытаемся решить другой вопрос. Если бы мы каким-либо способом в качестве гипотезы могли сформулировать правило, можно ли экспериментально проверить, использует ли его участник игры? На этот вопрос мы получим положительный ответ. Справедливость правила можно легко доказать путем постановки специального эксперимента. Для этого нужно, используя гипотезу о существовании правила, построить предсказание о том, сколько предметов (спичек) возьмет игрок, использующий алгоритм, на следующей стадии игры, и затем сопоставить прогноз с результатами опыта. Такой ответ не решает проблемы раскрытия алгоритма, но имеет немаловажное значение.

Теперь подумаем, как же построить гипотезу. Нужно иметь набор специальных понятий типа «кратное», «больше на единицу» и др. Рассматривая определенное количество данных о поведении игрока, имея эти или подобные им понятия, можно будет строить различные гипотезы и последовательно проверять их. При этом, конечно, объем работы будет достаточно большим.

Интересно отметить, что подобным путем знаменитый ученый XVII в. Кеплер открыл общие законы движения небесных тел. Эти законы каждый раз проявлялись в форме большого многообразия конкретных численных данных. Кеплер строил гипотезы о наличии законов и затем проверял их на факти-

ческом материале. Это не единственный путь перехода от эмпирического материала к раскрытию «рождающего» его более общего механизма, типа закона, алгоритма.

Нельзя ли сократить перебор вариантов гипотез при исследовании? Рассмотрим ряд чисел, кратных двум (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14) и шести (6, 12, 18, 24, 30). Очевидно, что общие свойства ряда сразу позволяют откинуть некоторые варианты гипотез.

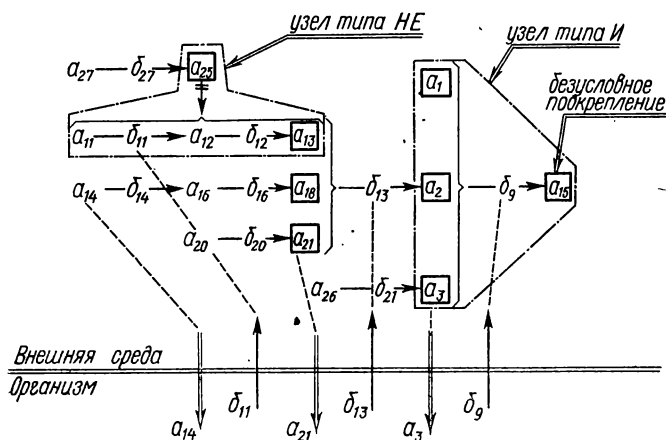
Таким образом, создавая гипотезы и проверяя их экспериментально, можно выявить отдельные закономерности (правила). Для того чтобы объединить правила в структуру алгоритма и доказать их эффективность при решении задач, можно провести эксперименты специального типа. На основе гипотезы об организации алгоритма можно построить прогнозы целостного поведения игрока и сопоставить их с результатами опыта или последовательно осуществить все команды алгоритма самому и проверить, приводит ли он к выигрышу.

Итак, мы установили значение целого ряда предпосылок и этапов деятельности: 1) наличие набора абстрактных понятий, 2) возможность сокращения перебора при построении гипотез, 3) возможность экспериментальной проверки гипотез, 4) объединение отдельных правил в алгоритм, 5) проверка эффективности целостного алгоритма. Рассмотрим, как эти этапы деятельности могут быть реализованы при изучении работы мозга, как найти систему нужных абстрактных понятий, как сократить перебор гипотез, как осуществить проверку гипотез. При анализе примера игры в «побеждает чет» такие понятия имелись у человека ранее. При изучении работы мозга их, казалось бы, нужно было еще специально выработать. Однако внимательный анализ привел ученых к выводу о том, что существенные предпосылки для решения проблемы фактически уже созданы.

Мы уже говорили о более широком понимании роли учения И. П. Павлова, о тесной его связи с осуществлением начальных стадий построения абстрактной системы. Изучение работы мозга основывалось на рассмотрении абстрактных схем, отражающих взаимодействия организма и внешней среды. При этом был сформулирован ряд понятий: «условный

рефлекс», «рефлекс на комплексный раздражитель», «условный тормоз» и т. д.

Нельзя ли использовать эти понятия при решении проблемы построения гипотез как основы раскрытия алгоритмов и затем организовать эксперименты для их проверки? Этот вопрос стал основой проведения специального исследования. Была осу-



ществлена попытка описания отдельных компонентов алгоритмов на языке, созданном при разработке учения о высшей нервной деятельности. Для построения гипотезы осуществлялся анализ протоколов экспериментов. С целью сокращения числа возможных вариантов использовались схемы, положенные в основу экспериментов, пример которых представлен на рисунке.

Гипотеза о существовании правила должна была быть сформулирована в таком виде, который позволил бы выявить компонент работы алгоритма, применимого не только в различных ситуациях, определяемых схемой данного эксперимента, но и для различных случаев формирования поведения человека и животных в естественных условиях их жизни. Между тем результаты каждого конкретного эксперимента формулировались в виде последовательной записи возникающих в процессе опыта сигналов и действий испытуемых. Преодолеть это противоречие исследователи смогли при помощи разработанных

ими новых приемов анализа, связанных с постановкой и последовательным доказательством теоретических гипотез, сформулированных на основе языка схем опыта. Эти схемы предусматривали использование таких терминов, как «рефлекс на комплексный раздражитель» (см. рисунок —  $a_1, a_2, a_3$ ), отражающий отношение взаимного дополнения элементов, условный тормоз, отражающий отношение взаимоисключаемости элементов, понятия типа «цепи», подкрепляющие сигналы «ориентирующего», «фиксирующего типа», и т. д. На этом обобщающем языке и формулировались правила работы мозга с тем, чтобы они могли стать основой построения алгоритмов.

Как известно, в области теории познания была осуществлена абстракция от конкретного рассмотрения ситуаций и установлены общие принципы организации окружающего нас мира, процесса взаимодействия человека со средой при познании им действительности. Большое значение имеет указание на то, что в основе окружающей действительности лежат сложные связи и системы отношений между объектами и что именно эти системы отношений являются наиболее важными для живых организмов. Перед учеными была поставлена задача воспроизвести в эксперименте не только простые причинно-следственные связи типа связи условного сигнала и безусловного подкрепления, но и более сложные системы отношений.

Советским исследователем в области высшей нервной деятельности членом-корреспондентом АН СССР Л. Г. Ворониным и его учениками были разработаны конкретные варианты методики. В этих экспериментах использовали специальные схемы. Пример такой схемы представлен на рисунке. При проведении эксперимента исследователь мог включать сигнал только в том случае, если в результате каких-то поисковых действий человек или животное осуществляли предусмотренные схемой действия. Например, если были включены сигналы  $a_1, a_2, a_3$  (компоненты узла типа *И*) и испытуемый осуществлял действие  $b_9$  (нажатие на кнопку, на педаль и т. д.), то появлялся сигнал безусловного подкрепления ( $a_{15}$ ). Такая схема более полно отражала специфику внешних условий и создавала предпосылки для вы-



явления новых правил работы мозга. Экспериментатор реализовывал модель внешней среды, но сам не мог активно вмешиваться в ход эксперимента. Напротив, испытуемому принадлежала активная роль: он осуществлял предусмотренные схемой действия, мог влиять на внешний мир, вызывая соответствующие изменения. В ходе опыта перед человеком или животным ставилась определенная цель: человек включал сигнал, который был определен инструкцией, а животное получало пищу.

Такие схемы позволили отразить различные условия, в которых осуществляется формирование поведения человека и животных. Нами был приведен только наиболее простой пример их построения.

Чтобы сформулировать гипотезу, применялась следующая методика. На первом этапе использовалась статистическая обработка данных экспериментов и выявлялись некоторые зависимости между сигналами и действиями, которые описывались на языке протокола опыта, например зависимость между появлением сигнала  $a_{13}$  и возникновением действия (нажим на кнопку  $b_{12}$ ). Такие закономерности служили ориентиром для дальнейшего исследования. Выявлялось значение данного сигнала в схеме опыта. Устанавливалось, в частности, что этот сигнал ( $a_{13}$ ) является одним из компонентов «узла типа И» ( $a_{13}, a_{18}$ ) (отношения взаимного дополнения), что видно на схеме (см. рис.). Далее выяснялось, какое значение на схеме имеет  $b_{12}$  и т. д. Этот анализ давал возможность сделать предположение о наличии правила, например правила, определяющего, что элементы рефлекса на комплексный раздражитель могут играть роль автономного подкрепления при выработке новых систем рефлексов.

Гипотеза о наличии правила проверялась экспериментально. При этом общая структура схемы опыта упрощалась. В нее включалось минимальное количество компонентов, необходимое для подтверждения созданной гипотезы. Например, в том случае, если предполагалось, что компоненты рефлекса на комплексный раздражитель могут служить подкрепляющим раздражителем для выработки новой цепи рефлексов, при проведении эксперимента вырабатывался рефлекс на комплексный раздражитель, а за-

тем выяснялось, можно ли использовать элементы комплекса для выработки новых условнорефлекторных реакций.

После того как человек или животное осуществляли предписанные схемой опыта действия, включался элемент комплексного раздражителя. Выяснялось, фиксируется или не фиксируется данное действие в форме условного рефлекса. Если действие закреплялось, значит, гипотеза была правильной, если не закреплялось, то приходилось отказываться от этого предположения и переходить к построению новой гипотезы, которую также следовало проверить специальными экспериментами.

В связи со спецификой описанных типов экспериментов первая их категория была определена как «ориентирующие эксперименты», а вторая — как «анализирующие эксперименты». Ориентирующие эксперименты служили для первоначального анализа процесса работы мозга и построения предположений, а анализирующие — для подтверждения созданных гипотез. Таким образом удалось реализовать ряд предпосылок, необходимых для выявления отдельных правил.

Далее возникла задача объединения правил в структуру алгоритма. Для этой цели проводились так называемые «синтезирующие эксперименты», которые доказывали, что все правила, объединенные в определенную последовательность, действительно приводили к решению задачи, т. е. что они обладали свойством результативности. Для этого проводились также «контролирующие» эксперименты, при постановке которых перед испытуемым не ставилась цель добиться поставленного в инструкции результата. Он механически выполнял все выявленные ранее правила, не вводя в эксперимент никакого элемента творческого поиска или мышления. Ставилась задача выяснить, может ли алгоритм (последовательность формально записанных правил) привести к желаемому результату, т. е. построить правильное «отображение внешнего мира». Если в результате действия испытуемого оказывалось возможным построить отображение, значит, алгоритм обладал определенной степенью полноты и эффективности. Если же возникали ошибки, то проводился их анализ, который

использовался для того, чтобы поставить новые эксперименты и выявить недостающие компоненты.

После того как был создан алгоритм, оказывалось возможным теоретически доказать, что его работа действительно приводит к реализации способностей человека и животных. Можно было поставить алгоритм на вычислительную машину и доказать эффективность полученных систем правил на основе использования метода кибернетического моделирования. Далее большое значение имел этап, на котором осуществлялось доказательство использования алгоритма на работе мозга в естественных условиях жизни человека и животных. Для этого по специальным тестам обнаруживалось присутствие данного алгоритма, а затем конкретное поведение человека интерпретировалось на языке описания алгоритма. На созданной теоретической модели можно было «проигрывать» разные ситуации и сравнивать полученные теоретически прогнозы с теми формами деятельности человека, которые проявлялись в естественных условиях. Таким образом, можно было доказывать эффективность алгоритма как основы работы мозга человека.

Следует отметить, что такая методика исследования объектов внешнего мира не является принципиально новой. Она широко используется в области физики и химии. Так, например, знание основных закономерностей превращения химических веществ становится основой развития биохимии, а системы закономерностей, описанные символически в виде специальных формул протекания химических реакций, — основой изучения биохимических систем живых организмов. При этом сначала выясняется наличие определенных веществ. Затем используются знания о целостных химических процессах и делается предположение о наличии тех или иных комплексных процессов в живых организмах. Эти предположения проверяются специальными экспериментами.

Выявление алгоритмов работы мозга создавало предпосылки для анализа сложных комплексных форм высшей нервной деятельности человека, например работы специалистов в области проектирования, конструирования. При этом удавалось понять сущ-

ность информационной деятельности уже не на основе полного комплекса экспериментов, проведенных по описанной выше методике, а на основании опознания применимости тех или иных известных алгоритмов. По специальным тестам определялось наличие тех или иных информационных задач, а затем делалось предположение о том, что в изучаемом объекте присутствует алгоритм определенного типа. Поскольку сама структура алгоритма была уже известна, удавалось на основе построения такой концепции организовать эксперименты, доказывающие эффективность созданной гипотезы. Таким образом, осуществлялось построение элементов абстрактной теории и дальнейшего ее использования при исследовании работы мозга, а также и других биологических систем.

Подведем некоторый итог сказанному. Трудности, возникающие при изучении работы мозга, были связаны с необходимостью рассмотрения процессов, происходящих как при работе мозга, так и в окружающей живые организмы внешней среде. Только такое рассмотрение могло обеспечить анализ работы алгоритмов. Трудности были связаны также с тем, что каждый алгоритм при своем функционировании проявлялся в виде большого количества конкретных поведенческих реакций, которые были весьма разнообразны и зависели от складывающихся во внешней среде ситуаций. Специфика таких конкретных форм поведения маскировала основной процесс. Так, при игре в шахматы можно было наблюдать разные конкретные тактики на разных стадиях игры. Однако описание тактик и их простое обобщение, например статистическая обработка данных, не приводила к выявлению алгоритма.

Описываемая методика позволяла ликвидировать эти трудности. Уже в самом начале постановки экспериментов осуществлялось абстрагирование от конкретных объектов и их соотношений, например абстрагирование от различных ситуаций игры. Создавались абстрактные модели взаимодействия внешней среды и организма, которые исключали все ненужное, второстепенное и содержали только те принципы организации, которые были существенны для работы алгоритмов.

Данная методика позволяла выявить значительно более сложные правила и принципы работы мозга, которые затем можно было объединить в алгоритмы. Последние становились основой создания элементов «искусственного интеллекта».

Использование описанной методики для изучения информационных систем живых организмов привело к раскрытию сложных алгоритмов. Так, в опытах и теоретических исследованиях одного из авторов книги Л. Л. Прагиной были выявлены алгоритмы достаточно сложной деятельности мозга человека и животных, связанной с распознаванием тенденции в развитии событий.

Что представляет собой эта деятельность? Человек обладает способностью предвидеть ход событий в будущем. Такое предвидение осуществляется на основе накопленного ранее опыта. Человек многократно встречается с событиями одного и того же типа и последовательно улавливает системы отношений между объектами и их основную структуру. Он выделяет существенные сигналы и может отличить их от сигналов, на которые не стоит обращать внимание. Создание такой системы имеет большое значение. Обычно человек не может неограниченно долго анализировать каждую из возникающих перед ним ситуаций. Важно быстро выявить те ориентиры, которые следует учитывать на каждой фазе развития событий, и производить те действия, которые рациональны в этом случае. Например, при игре в шахматы можно прогнозировать результаты тех или иных планов, тех или иных тактик, используемых противником. Важно выявить то, что существенно в ситуациях, возникающих на шахматном поле, и исключить ненужные раздражители. Такая ситуация возникает также и во многих других жизненных обстоятельствах (при развитии конфликта, при создании обстановки, которая может привести к срыву плана на производстве, и т. д.).

При помощи каких правил, каких механизмов человек способен выявить те признаки, ту структуру отношений, которая будет затем использоваться при определении исхода событий, а также те правила алгоритма, на основании которых эти знания будут использоваться в новых конкретных ситуациях? Для

того чтобы понять механизмы этого явления и выявить все соответствующие алгоритмы, были поставлены специальные эксперименты. В этих экспериментах у человека должны были формироваться не только одиночные рефлексy на комплексный раздражитель, но и целостные системы таких рефлексов. Причем опыты разделялись на две фазы: на первой фазе осуществлялась выработка систем рефлексов, а на второй фазе — их использование при предъявлении задач нового типа. Оказалось, что такое усложнение эксперимента приводит к тому, что выявляются новые правила и новые алгоритмы, причем эти алгоритмы носят достаточно сложный характер. Они включают последовательное формирование некоторых промежуточных систем рефлексов, которые приобретают значение только на определенных фазах выработки и в конечном итоге исчезают, имея вспомогательное значение. Такие системы рефлексов позволяют анализировать внешние ситуации и вырабатывать нужные комплексы сигналов. В результате использования этой методики удалось также выявить алгоритмы, лежащие в основе обучения, принятия решений в противоречивых ситуациях, речевого общения, формирования понятий и концепций, построения и доказательства правдоподобия версий о причинах событий и ряда других сложных форм работы мозга.

Использование теории алгоритмов при изучении работы мозга привело не только к определению путей развития учения И. П. Павлова, но и к формированию новых представлений о специальной категории алгоритмов — алгоритмов мыслительной деятельности.

В настоящее время понятие «алгоритм» применяется в различных областях науки и техники. При использовании вычислительных машин для повышения эффективности процесса проектирования, административной деятельности создаются алгоритмы, решающие различные конкретные задачи, например алгоритмы расчета грузоподъемности вагонов, определения прочности конструкций и др. При их построении применяются такие содержательные понятия, как «вес бетонной балки», «прочность сталелитейных конструкций» и т. д. Алгоритмы этого типа в значительной степени отличаются от алгоритмов, используемых

в области математики. Они приобретают большое практическое значение. Однако эти алгоритмы не могут определять общие процессы интеллектуальной деятельности. Как известно, мышление человека является основой переработки информации в самых различных областях науки и техники. Если бы информационные механизмы мыслительной деятельности использовали какие-либо конкретные содержательные понятия, связанные, например, с проектированием промышленных сооружений, или включали компоненты абстрактного математического языка, то они потеряли бы свою универсальность.

При описании алгоритмов мыслительной деятельности использовались понятия «сигнал», «подкрепление», «рефлекс на комплексный раздражитель», «условный тормоз». При изучении систем условных рефлексов и алгоритмов арсенал понятий обогатился. Однако все более сложные понятия, например «ориентирующее подкрепление», «фиксирующее подкрепление», представлялись как композиции и как результат объединения простых систем правил преобразования определенных И. П. Павловым элементов. Такой язык позволяет исключить из рассмотрения не только содержательные понятия обычного разговорного языка, но и принятые в области математики абстрактные понятия. Обеспечивается возможность использования алгоритмов для переработки любой конкретной информации и в том числе для развития новых отделов математики.

Можно прийти к выводу о том, что этот язык может быть выведен как следствие рассмотрения взаимодействия внешней среды и организма, процесса построения отображений действительности. Простейший вариант схемы, обеспечивающий возможность абстрактного рассмотрения, представлен на рисунке. Эта схема, как уже говорилось, в абстрактном виде отражает системы отношений между объектами внешнего мира трех основных типов: взаимоисключения, взаимодополнения и взаимозаменяемости — и процесс построения при работе мозга внутренней модели внешней среды. В частности, такие понятия, как «рефлекс на комплексный раздражитель», «условный тормоз», возникают как обозначение процессов взаимодействия, связанных с построением в головном мозгу отобра-

ражений действительности в случае наличия во внешней среде отношений типа взаимного дополнения и взаимного исключения элементов.

У читателя при чтении книги, может быть, возникли вопросы о том, как же формируются те задачи, которые составляют основу работы алгоритмов мышления, как возникают алгоритмы, их основные свойства. Такие вопросы не могли не заинтересовать и ученых, изучающих работу мозга.

Известно, что в процессе мышления человек может не только находить способы решения поставленных перед ним задач, но и самостоятельно ставить новые задачи и приводить их к такому виду, который облегчает поиск уже известных и создание новых алгоритмов. В связи с этим оказалось важным не только рассмотреть свойства алгоритмов, их представимость на языке более высокого уровня, но и решить проблемы возникновения новых задач и обеспечивающих их решение алгоритмов.

Рассмотрим процесс взаимодействия среды и организма на абстрактной схеме. Один из вариантов таких схем представлен на рисунке. Как уже говорили, на этой схеме не находят своего непосредственного отражения частные отношения, например отношения, актуальные при формировании поведения обезьяны при построении пирамиды из ящиков. Схема отражает наиболее общий случай, в котором возможны отношения любых перечисленных типов.

Приведем примеры взаимодействия. Допустим, организм (животное, человек) осуществит воздействия на внешний мир, которые отражены на схеме в виде  $b_1, b_2, b_3$ . Согласно принятой схеме в среде возникнут изменения: будут появляться одни сигналы и исчезать другие. Так, если в условиях наличия сигналов  $a_{11}, a_{27}$  будут осуществляться воздействия  $b_{11}, b_{27}, b_{12}$ , то в среде появятся сигналы  $a_{13}, a_{25}$ . Можно перед собой поставить цель — выяснить, может ли человек (или животное) при помощи определенных воздействий на среду выявить существующие в ней закономерности и построить таким образом правильное отображение действительности.

Поиск путей решения такой задачи на абстрактных схемах похож на некоторую игру. Однако такая игра может иметь немаловажное значение. Ведь схе-



ма в абстрактном виде отражает целый класс конкретных ситуаций внешнего мира и на основе ее рассмотрения можно получить такие выводы, которые затем окажутся применимы для объяснения ситуаций, возникающих в конкретных условиях исследовательской деятельности человека.

Обычно изучение описываемых моделей осуществляется на основе использования вычислительной техники или специализированных автоматов, в которых реализуется модель внешнего мира. Однако читатель может использовать для этой цели более простые средства: проследить все изменения на схеме и таким образом реализовать процесс взаимодействия. Такая игра на моделях приводит к выводу о том, что перед человеком, исследующим внешний мир, возникают специфические задачи. Их можно пояснить на примере. Допустим, человек в условиях наличия сигнала  $a_{11}$ ,  $a_{27}$  совершил действие  $b_{11}$ . Согласно схеме, в ответ на это возникнет сигнал  $a_{12}$ . Если будет осуществлено действие  $b_{12}$ , то появится новый сигнал  $a_{13}$ . Казалось бы, может быть начат процесс установления причинно-следственной связи и выработки на этой основе условных рефлексов  $a_{11} - b_{11} - a_{12} - b_{12} - a_{13}$ . Однако в последующем, в процессе поиска, человек может включить тормозной сигнал. После этого, совершив действия  $b_{11}$ ,  $b_{12}$ , человек не получит в ответ сигналов  $a_{11}$ ,  $a_{12}$ ,  $a_{13}$ . Таким образом, результаты исследовательской деятельности будут иметь противоречивый характер, и вместо выработки условного рефлекса начнется процесс угашения.

В целом в результате такого опыта может быть сделан вывод о наличии специфических трудностей, которые проявляются в большой лабильности внешней среды, отсутствии однозначных ответов на одно и то же воздействие. Возникают специфические задачи: задача стабилизации ситуации, разделения информационной деятельности на определенные части, формирования промежуточных ориентиров поиска. Они определяют работу специфических алгоритмов. Рассмотрение схемы позволяет проследить генезис информационных задач и объяснить значение работы алгоритмов.

Описанное рассмотрение приводит также к возможности понимания сущности свойств массовости,

результативности и детерминированности. Свойство массовости определяется тем, что как генезис структуры задачи, так и описание алгоритмов оказываются сформулированными на таком абстрактном языке, который позволяет строить различные конкретные варианты решения задач. Следует, однако, заметить, что приведенная нами схема представляет собой простейший пример взаимодействия. При построении абстрактных моделей необходимо учитывать наличие во внешней среде вероятностных процессов, систем законов более общего типа, которые проявляются вовне только в виде частных интерпретаций, а также существование других принципов усложнения организации.

Использование более сложных схем взаимодействия среды и организма позволяет выявить информационные задачи, составляющие основу интеллектуальной деятельности человека. Это в свою очередь создает предпосылки для раскрытия алгоритмов. Рассмотрение возникающих при этом моделей позволяет проследить происхождение более частных информационных задач и алгоритмов их решения. Так, удается показать, как из рассмотрения абстрактных схем взаимодействия среды и организма возникают информационные задачи, понять, чем определяется возникновение основных свойств алгоритмов.

Приведенные выводы на первый взгляд могут показаться неожиданными. Мы уже говорили о том, что создание новых алгоритмов, часто определяющих направление развития различных отделов математики, оказывалось возможным только в результате напряженного интуитивного мышления специалистов, о характере которого они сами не могли дать словесного отчета. Развитие математики было основано на построении логических систем доказательства теорем и создании эффективных методов расчета (решении задач).

Более широкая постановка проблемы, включающая рассмотрение вопросов о путях создания новых алгоритмов, о факторах, определяющих их основные свойства, отражает естественный ход развития науки. Поскольку развитие математики — это результат интеллектуальной деятельности человека, возможность формального описания механизмов работы мозга долж-

на была пролить свет и на решение проблем создания ее новых отделов.

В этой связи интересно отметить, что развитие многих (если не всех) направлений математики было тесно связано с анализом тех или иных сторон мыслительной деятельности человека (математическая логика, теория множеств и др.). Известно, что великий математик и философ Лейбниц, создатель теории дифференциальных и интегральных исчислений, ставил своей задачей не только построить новые отделы математики, но и понять, каким образом осуществляется процесс их построения при работе мозга человека.

В наши дни постепенно приоткрывается занавес, скрывающий величайшие тайны природы. Перед человеком возникают увлекательные картины, отражающие процесс творчества. В этом процессе существенную роль играет анализ взаимодействия человека с внешним миром, познание общих принципов организации окружающей нас внешней среды. Большой интерес представляет прогноз, сделанный известным математиком В. Н. Тростниковым: «Сейчас настало время, когда наука изучает или пытается изучать материю в самом общем понимании — неживую природу вместе с включенным в нее сознанием, представляющим в этом контексте высшую форму материи. Такой подход стимулируется, кроме всего прочего, возросшей активностью познающего и преобразующего мир человека и становится нормальным и закономерным подходом в эпоху научно-технической революции. Успешное продвижение по этой линии познания уже, видимо, не обеспечивается традиционной математикой. В воздухе висит необходимость создания новой математики, лучше приспособленной к описанию ситуаций природа—человек, а может быть и нескольких математик.

Возможно, в будущем произойдет следующее: математика вступит в более тесную, чем ныне, связь с определенными разделами материалистической философии и психологии. Итак, образуется область, которую можно назвать «количественная гносеология»<sup>1</sup>.

Рассматривая величайшие достижения науки, основанные на использовании математики, все же при-

<sup>1</sup> Тростников. В. Н. Конструктивные процессы в математике. М., 1975, с. 251.

ходится признать, что они базируются на изучении внешнего мира, оторванного от созидательной деятельности человека, от его творческого мышления. На современном этапе развития науки, когда ставятся проблемы оптимизации структуры управления, включения вычислительных машин в процесс проектирования, конструирования, уже недостаточно создавать автоматизированные системы, дополняющие мышление человека. Важно иметь средства формального описания информационных организаций, органически включающих интеллект человека в целостную систему. Алгоритмическое изучение работы мозга и построение моделей искусственного интеллекта должны сыграть при этом существенную роль.

#### ТЕОРИЯ АВТОМАТОВ В СИСТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

С помощью методики выявления алгоритмов удалось расшифровать механизмы многих ранее недоступных для анализа явлений, например таких, как обучение, восприятие информации, формирование понятий, концепций, доказательства правдоподобия версий и др. Однако создавалось впечатление, что по мере того, как исследователи раскрывали новые алгоритмы, они все дальше и дальше уходили от решения проблем нейрофизиологии, от ответов на вопрос, как работают нервные центры человеческого мозга и сложные организации нервных клеток, каким образом в результате их совокупной деятельности возникает способность к мышлению человека.

В период, предшествующий изучению алгоритмов, этот вопрос, казалось бы, решался достаточно просто. Субстратом осуществления условных рефлексов являлось формирование временных связей между нервными клетками. Задачи нейрофизиологии можно было свести к анализу биофизической и биохимической основы формирования таких связей. Выявление сложных систем правил работы мозга, алгоритмов приводило к разрушению этой «удобной» для исследователей ситуации.

Ученых заинтересовал вопрос, каким же образом при работе мозга может осуществляться сложное

преобразование информации. На смену представлениям о том, что функционирование нервных центров определяется динамикой двух основных процессов возбуждения и торможения, их иррадиацией, концентрацией, взаимной индукцией, приходила концепция о необходимости раскрытия роли структур мозга в процессе переработки информации, в формировании и взаимодействии новых сигналов, в осуществлении правил, работы алгоритмов и их взаимодействия. Если раньше нейрофизиолог, рассматривая под микроскопом картину сложнейших соединений в ансамбле нервных клеток, стремился представить себе возникновение новых связей между элементами, то теперь он видел все другими глазами. Перед ним вставали значительно более сложные задачи: понять как в нейронных ансамблях реализуется работа алгоритмов. Оказалось необходимым использование достижений других отделов кибернетики.

В настоящее время разработан целый ряд разделов математики, которые не только дают возможность проводить необходимые расчеты, но и приобретают решающее значение в раскрытии «существа» механизмов сложных явлений природы. К таким областям математики, в частности, относятся математическая логика и теория автоматов. Они позволяют подойти к решению многих проблем. Оказывается возможным строить новые системы управления и переработки информации на основе использования формальных методов. Задание для построения такого автомата (синтеза автомата) может быть сформулировано на основе изучения биологической системы в форме описания поведения на языке математической логики. Метод «синтеза» обеспечивает возможность создания такого устройства, которое заведомо будет осуществлять заданное поведение. Наряду с этим большое значение имеет возможность анализа принципов организации изучаемого объекта. Рассматривая систему и определяя, каким образом соединены ее элементы, можно выяснить, какое именно поведение она будет осуществлять при своем функционировании.

Развитие теории автоматов продемонстрировало ряд интересных возможностей, которые привлекли внимание физиологов и философов. Как мы уже говорили ранее, одной из основных проблем, возникаю-

щих при изучении работы мозга, была проблема перехода от изучения систем нервных элементов, объединенных в сложные конструкции, к анализу осуществляемого системой поведения. В течение длительного времени считали, что эта проблема далека от разрешения. Мы уже говорили о том, что в настоящее время специалисты в области физиологии располагают значительным объемом данных об организации отдельных нейронов, о способах их связи друг с другом. Основная проблема заключается в том, каким образом изучить те сложные организации (сети), которые возникают в результате взаимодействия большого количества элементов. Именно в этих системах появляются новые в качественном отношении явления, которые становятся основой сложных форм работы мозга (поведения). Для изучения такого взаимодействия до последнего времени не удавалось разработать достаточно эффективных методов исследования.

Разработка теории автоматов предлагала в данном случае достаточно простое и эффективное средство. Оно было основано на сочетании экспериментальных и теоретических методов. Если перед физиологами возникала задача выяснить, как организована структура сети нервных элементов и каким образом она приводит к возникновению изучаемого поведения, то можно было применить прием построения теоретических моделей. Метод синтеза автоматов позволял теоретически построить модель или несколько различных моделей, которые заведомо осуществляли исследуемое поведение. После этого можно было организовать эксперименты по проверке справедливости гипотез о целостной организации систем и, отбросив ошибочные варианты, доказать истинность одной из схем. Например, изучив поведение паука, который плетет паутину, или пчелы, которая производит достаточно сложную и весьма кропотливую работу, связанную со строительством сот для упаковки меда, можно было сначала теоретически построить модель структуры, которая заведомо будет осуществлять данное поведение. Затем можно было использовать эту теоретическую модель как гипотезу для экспериментального изучения организации и принципов взаимодействия систем нервных клеток в процессе работы нервной системы насекомого. Построенные на основе гипотезы предска-

ния о характере активности нервных клеток в различных условиях должны были быть сопоставлены с результатами эксперимента. Следует отметить, что подобные приемы исследования, связанные с построением целостных гипотез, используются почти во всех областях науки. Невозможно себе представить, например, развитие современной физики и химии без использования теории, позволяющей строить и проверять экспериментально целостные концепции.

Преимущества такого подхода очевидны. Он позволяет преодолеть трудности, которые возникают при экспериментальном изучении целостных сложных информационных систем, не поддающихся расшифровке на основе непосредственного обобщения экспериментальных данных. Использование теории автоматов могло решить эту проблему. Можно было теоретически подойти к изучению организации систем нервных элементов работы мозга, выявить специфику возникающих новых явлений и таким образом приблизиться к разгадке и этой тайны природы.

Однако на путях развития этого направления нейрокибернетики появились неожиданные, но существенные трудности. Для того чтобы выяснить их причины, вернемся к рассмотрению уже описанной ранее модели обучающегося автомата, созданного студентами Московского энергетического института. На основе использования теории автоматов достаточно просто построить модель формирования цепей условных рефлексов. Была создана структура типа «обучающихся матриц». Но при этом оказалось необходимым повторять схему выработки условного рефлекса много раз. Это приводило к дублированию элементов и в то же самое время к ограничению числа возможных используемых действий. Таким образом, схема была далека от совершенства.

Возникали и другие доводы, говорящие о том, что схемы, созданные при разработке «обучающихся матриц», не могли быть эффективно использованы как теоретическая основа для изучения мозга. Дело в том, что если в этой системе исключить работу какого-либо элемента, то это приведет к строго локальным изменениям в формировании поведенческих реакций. Как известно, подобное явление при разрушении частей мозга отсутствует. В этом случае происходит ком-

пенсация функций, и часто даже при значительных поражениях нервной ткани видимых изменений в поведении человека и животного не наблюдается.

Наиболее существенные недостатки автомата заключались, как мы уже говорили, в том, что эта модель не обеспечивала возможности формирования целесообразного поведения в сложных условиях внешней среды. Следовательно, ее устройство не отражало основных принципов функционирования реальных механизмов работы мозга. При этом трудности были связаны не с решением задачи реализации заданного поведения в структуре автомата, а в необходимости раскрытия алгоритмов работы мозга. Теория автоматов не решала эту проблему.

Теория автоматов действительно обеспечивает возможность представления любого поведения в виде физического устройства. Однако возникает вопрос, что именно нужно реализовать в структуре автомата, чтобы получить элементы искусственного интеллекта — конкретное поведение человека или животного, например поведение обезьяны, строящей пирамиды из ящиков? Такой автомат можно было создать, но его работа будет отражать только один из частных результатов внешнего проявления процесса мышления, а не действительные механизмы работы мозга обезьяны. Можно было реализовать в автомате правила выработки условного рефлекса или системы условных рефлексов. Но мы видели, что при этом также не удавалось получить достаточно эффективных моделей работы мозга.

Напрашивался вывод, что, прежде чем начать изменять теорию автоматов, нужно выявить ту информационную основу (алгоритмы), которая должна быть реализована на физико-химическом субстрате. Сначала необходимо изучить алгоритмы и информационные механизмы работы мозга. Именно они, а не частное поведение, проявляющееся в различных ситуациях, должны стать основой для построения кибернетических моделей.

Для того чтобы можно было осуществить успешное построение теоретических гипотез об организации сети нейронов, нужно было прежде всего выяснить, какие именно задачи решаются исследуемым отделом мозга и какие алгоритмы лежат в основе решения.



Между тем исследователи, пытающиеся использовать теорию автоматов, как правило, не располагают такими сведениями. Они основываются на использовании таких понятий, как обучение, формирование рефлексов. Однако эти виды деятельности являются результатом работы всего мозга в целом и не отражают тех локальных задач и процессов, которые составляют основу работы исследуемых отделов нервных центров.

При осуществлении попытки применения теории автоматов не учитывалась также возможность использования более сложных принципов организации взаимоотношения между работой алгоритмов и их реализацией в физико-химических системах. Во многих случаях непосредственная реализация алгоритма в структуре автомата нецелесообразна. Если кибернетическая система должна обеспечить одновременную работу многих алгоритмов, необходимо их объединить в единую систему (осуществление информационного синтеза). В результате такой процедуры возникает новая организация, описываемая новым обобщенным языком. Именно такая организация, а не отдельные алгоритмы должна быть реализована в структуре автомата. Но в этом случае уже не удастся установить непосредственного соответствия элементов алгоритма и тем более поведения со структурой автомата.

Мы уже говорили о том, что при создании вычислительных машин были использованы более совершенные и гибкие принципы взаимодействия программ и реализующего их работу физико-химического субстрата. В этом случае одна и та же вычислительная машина могла обеспечивать работу различных программ и алгоритмов. Фактически ее организация не предопределяла работы самих программ, а только создавала условия для их реализации и функционирования. Возникла более сложная система отношений.

Различие между организацией двух описанных типов было проиллюстрировано нами на примере сравнения устройства арифмометра с вычислительной машиной. При использовании арифмометра алгоритмы воплощены непосредственно в форме физической организации прибора (в виде определенных шестеренок, которые позволяют механически осуществлять ариф-

метические операции). Этот принцип эффективен в определенных условиях.

Вычислительная машина построена на других принципах. Большое значение имеет организация программ, алгоритмов. Последние определяют характер конкретной деятельности системы, например способность вычислительной машины участвовать в игре в шахматы, осуществлять балансировку конвейерных линий, управлять производством и т. д. Субстрат информационной деятельности, ее физико-химическая система построены на основании решения специальных задач создания условий реализации и использования программ и алгоритмов, а не задач осуществления какого-либо конкретного поведения. Эти задачи определяют специальные функциональные схемы соотношения блоков. Например, процессор обеспечивает преобразование информационных структур. Монитор, супервайзер решают задачи управления работой программ. Включается специальное устройство «разделения времени», которое обеспечивает возможность одновременного обслуживания большого числа «пользователей». Функции всех этих блоков, как это видно из их наименования, не связаны не только с конкретным поведением или каким-либо иным внешним проявлением в работе системы (например, способностью к обучению, выработке условных рефлексов), но и с организацией отдельных алгоритмов.

Устройство мозга, по-видимому, непосредственно не соответствует ни одной из приведенных схем организации информационных систем. Однако трудности, которые возникают при его исследовании, заставляют думать о наличии достаточно сложной системы отношений между информационной и физико-химическими системами. При формировании мозга в процессе эволюции были использованы, видимо, принципы, которые предусматривают, что в осуществлении каждого поведенческого акта должны участвовать многие нервные центры. Наличие такого принципа было обнаружено в физиологических исследованиях.

Ученые предпринимали, например, многочисленные попытки расшифровки механизмов формирования двигательных актов на основе изучения простых движений типа почесывания, отряхивания. Они думали, что выбор таких элементарных движений облегчит

процесс исследования и позволит затем перейти к анализу более сложных явлений. Однако их надежды не оправдались. Задача раскрытия механизмов не была решена.

Дело в том, что в морфофизиологических системах мозга отсутствует непосредственное представительство как механизмов формирования отдельных простых двигательных актов, так и лежащих в их основе алгоритмов. В процессе эволюции была создана единая система, обеспечивающая формирование движений как целостного процесса, частными проявлениями которого являлись исследуемые движения типа почесывания, отряхивания и др. В этом заключаются трудности в исследовании работы нервной системы и причина неудачи в использовании теории автоматов.

Для того чтобы расшифровать механизмы работы мозга, нужно знать не только алгоритмы его работы, но и пути их объединения в системы более сложного типа. Следовательно, методики изучения работы мозга, основанные на использовании теории автоматов, могут оказаться эффективными только в условиях организации комплексного исследования. При этом сначала должны быть раскрыты информационные задачи, составляющие основу интеллектуальной деятельности, алгоритмы их решения. Далее должны быть выявлены задачи, решаемые при работе физико-химических систем, выполняющих функции субстрата информационной деятельности, и, наконец, намечен переход к определению тех локальных частных подзадач, которые составляют основу информационной деятельности исследуемого отдела мозга. Только после этого может быть успешно применена теория автоматов.

Трудности, возникшие при использовании теории автоматов, привели к поискам других путей решения проблемы построения «искусственного интеллекта», к развитию нового направления кибернетики — «эвристического программирования».

## ЭВРИСТИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Выявление алгоритмов работы мозга не решало всех проблем моделирования интеллектуальной деятельности. Открывались возможности для раскрытия механизмов таких явлений, как обучение, прогнозирование. Однако при попытках создать кибернетические системы, активно осуществляющие интеллектуальную деятельность, возникли трудности.

Жизнь человека, его деятельность определяются не только его опытом, системой знаний, но и формированием программ работы, обеспечивающих его приспособление к длительным сохраняющимся ситуациям. Например, студент, изучающий медицину, в процессе своей повседневной жизни работает в обстановке, специфической для данного института. Механизмы принятия решений, построения версий, формирования понятий используются, но они отходят на задний план, уступая место ситуационным программам деятельности, основанным на использовании выработанных понятий. Это один из основных уровней мыслительной деятельности, без изучения и моделирования которого было невозможно подойти к решению проблем «искусственного интеллекта».

В связи с этим большое значение в науке приобрели идеи специального направления кибернетики — эвристического программирования. Ученые не ставили перед собой цель воспроизвести модель организации нервных клеток, т. е. субстрата информационной деятельности. Для того чтобы создать модели искусственного интеллекта, оказалось достаточным построить определенные алгоритмы и программы. Такие программы затем можно было реализовать на универсальной вычислительной машине, не заботясь о том, чтобы устройство машины в какой-то степени приближалось к работе нервных элементов мозга. Созданные таким образом эвристические программы доказывали теоремы в области геометрии значительно быстрее, чем человек, и часто находили такой путь доказательства, который не приходил в голову специалистам.

Это позволило говорить о том, что они обладают какими-то элементами творчества или элементами интеллектуальной деятельности. Оказалось возможным построение таких эвристических программ, которые осуществляли деятельность банкового служащего, балансирование конвейерных линий, отвечали на простейшие вопросы и т. д.

При создании эвристических программ исследователи отказались как от идеи использования математического аппарата, так и от разработки теории работы мозга. Они выявляли определенные «эвристики», т. е. способы принятия решений, в результате которых человек приходил к принятию решений в какой-либо узкой области своей профессиональной деятельности, например при балансировании конвейерных линий, при работе диспетчера и т. д. Определенные типичные ситуации и некоторые способы, при помощи которых человек мог решать возникающие перед ним проблемы, представлялись в виде программ для вычислительных машин.

За относительно короткий период времени в различных странах было создано большое количество эвристических программ подобного типа, некоторые из них получили практическое значение. Так, например, были созданы программы, которые могли осуществлять такую сложную деятельность, как работа исследователя, устанавливающего структурную формулу химических веществ. Для этого была проведена работа с опытным специалистом в области химии. Последовательно изучая все используемые им методики и эвристики, кибернетики добились создания нужных программ для вычислительных машин.

Характерная особенность этих исследований заключалась в том, что обычно создатели новых эвристических программ не заботились не только о сходстве организации субстрата информационной деятельности машины и мозга человека, но и о раскрытии природы самих эвристик, их происхождения, не искали объяснения, почему именно они способствуют решению задачи. Для исследователя этого направления казалось достаточным «подсмотреть» какую-либо эвристику при работе мозга и воспроизвести ее в виде программы вычислительной машины. Такой подход обеспечил быстрое создание программ, имитирующих

различные стороны интеллектуальной деятельности человека, но не мог полностью удовлетворить исследователей, так как не давал ответа на вопрос: почему именно эвристика приводит к положительному решению?

Часто в той ситуации, в которой человек осуществлял определенную эвристическую деятельность и добивался результатов, с точки зрения математики отсутствовала какая-либо принципиальная возможность использования более рациональной тактики, чем тактика простого перебора всех возможных вариантов. Возникал естественный вопрос: как может использоваться эвристика в условиях, когда точное математическое описание и теоретическое рассмотрение приводят к выводу о невозможности существования каких-либо целесообразных способов действия?

Эти проблемы нашли свое отражение в целом ряде дискуссий, в ходе которых математики выражали свое несогласие с направлением работы специалистов в области эвристического программирования и указывали на то, что эвристики не могут обеспечивать эффективного принятия решений. Со своей стороны специалисты в области эвристического программирования приводили, казалось бы, также достаточно убедительный и простой довод, который сводился к тому, что если бы математики были правы и действительно не существовало принципиальной возможности рационального принятия решений в описываемых условиях, то не только созданные модели в области эвристического программирования, но и реальные механизмы мышления человека во внешней среде не могли бы существовать. В то же время факты говорят об обратном, об эффективности и большой продуктивности интеллекта человека.

Эвристическое программирование привлекает к себе серьезное внимание исследователей различных специальностей: психологов, философов, математиков. Оно развивалось в условиях необходимости преодоления серьезных противоречий и трудностей. Некоторым проблемам эвристического программирования были посвящены специальные заседания международной конференции, созванной в Суханово (Московская обл.). На эту конференцию собрались исследователи из многих стран мира, для того чтобы обсудить перс-

пективы создания искусственного интеллекта. На ней выступил, в частности, американский исследователь Гелернтер. Свою критику методов эвристического программирования профессор Гелернтер построил в форме ответа на вопросы. Отвечая на вопрос, почему он прекратил свои исследования в области создания эвристических программ, доказывающих теоремы в области геометрии, он указывал, что используемые в таких программах принципы и механизмы не отражают основных процессов творческого мышления человека. Они работают только в очень узких специализированных ситуациях и поэтому не могут служить основой для изучения психологии и физиологии мышления.

Недостатки эвристического программирования проявились также при попытках использования программ для решения практических задач. В некоторых случаях такие программы оказывались полезными. Однако в то же время выявились и существенные их недостатки. Дело в том, что, создавая кибернетические устройства, способные осуществлять проектирование, конструирование, решение задач управления производством, исследователи ставили перед собой цель построить системы, превосходящие способности мозга человека, системы, которые бы могли использовать новые, более эффективные алгоритмы. Между тем в том случае, если в виде программы были реализованы эвристики, используемые специалистами, создавалось впечатление, что программа повторяет только то, что делал раньше человек, и не может создать более рациональной системы принятия решения. Это существенным образом ограничивало возможности практического использования моделей искусственного интеллекта в этих областях производственной деятельности.

Эксперименты показали, что описываемые методы моделирования нельзя применять при изучении механизмов работы мозга. Если используются понятия человеческого языка, например понятие, связанное с проектированием жилых зданий или проектированием автоматизированных систем управления, то каждое из этих понятий относится к некоторой области конкретной производственной деятельности человека, оно предопределяет круг решаемых проблем. Применение

хотя бы одного такого понятия неизбежно влечет за собой использование других конкретных понятий, так как все они связаны в мышлении человека в единую систему. Создатель искусственного интеллекта, которому кажется, что он может использовать только одно «базовое» понятие, а все остальные возникнут в процессе работы системы и будут общими для различных задач, «попадает в ловушку». В конце концов исследование приводит к созданию нового варианта частной программы.

Таким образом, мы подошли к ответу на один из вопросов, поставленных в нашей книге. Как могло получиться, что в условиях отсутствия понимания механизмов работы мозга удалось построить модели, имитирующие способности к интеллектуальной деятельности? Теперь мы видим, что такие модели в действительности не отражали основных механизмов высшей нервной деятельности, они воспроизводили только некоторые внешние проявления их работы. Вместе с тем анализ, проведенный при моделировании, оказал стимулирующее влияние на процесс изучения механизмов работы мозга, он привел к формированию новых идей и методов исследования. Стали вырисовываться контуры нового комплексного пути исследования, объединяющего изучение высшей нервной деятельности и построение кибернетических моделей.

Каким же образом следует подходить к изучению и воспроизведению в виде моделей основных истинных механизмов деятельности мозга? Можно ли использовать описанные подходы для того, чтобы добиться решения задач коренного усовершенствования систем управления, повышения эффективности творческой деятельности человека на основании использования вычислительной техники?

Исследования в области создания искусственного интеллекта пошли по пути поиска. Так, была создана эвристическая программа, которая была названа «общий решатель проблем». Что значит слово «общий»? В него вложено достаточно большое содержание. Такая эвристическая программа должна решать проблемы, не только связанные с какой-то конкретной областью, одной профессией, одной ситуацией информационной деятельности. Она должна была быть применима к любым задачам, принимать решение в различ-



ных складывающихся в процессе жизни человека (или искусственного интеллекта) ситуациях. Для того чтобы решить эту проблему, ученые исключили из арсенала понятий, используемых машиной, такие слова, которые имели конкретное содержание (смысл). При создании модели «универсальный решатель проблем» были использованы только абстрактные символы, например, сформулированные в виде букв, объединенных в слова. Все связи между буквами и словами носили также абстрактный характер. Так, был сделан вывод о том, что некоторые формы принятия решений могут быть представлены как переход от исходной ситуации к конечной. Первая отражает собой то, что имеется в распоряжении специалиста, решающего проблему, вторая — к чему он стремится в процессе своей деятельности. Обе конечные и начальные ситуации могут быть представлены в виде определенного набора символов (слова).

При построении такой абстрактной схемы нужно было добиться, чтобы каждая из букв могла отражать разные конкретные понятия. Вместо буквы могут быть подставлены различные понятия, определяемые такими словами, как «станки», «здания», «автомобили» и т. д. Программа должна решать задачи в общем виде. Однако имелось в виду, что на основе ее работы будут решены различные конкретные задачи, которые возникают в результате подстановки вместо букв конкретных понятий. Таким образом, программа должна была, по замыслу ее авторов, приобрести универсальное значение.

Обратимся к рассмотрению примеров. При решении какой-либо проблемы человек имеет представление о том, какие операции или действия над объектами возможны и какие невозможны. Например, специалист, принимающий решения, знает, что он может купить станки нужного типа. На этих станках он может производить определенную продукцию. Список таких возможных преобразований исходной ситуации был определен в виде комплекса «допустимых подстановок». Если определить решение проблем таким образом в виде абстрактной схемы, то можно было записать, что имеются ситуации, характеризующиеся наличием букв  $a_1, a_6, a_8, a_3$ , и конечные —  $a_4, a_{15}$ . Можно представить

процесс, который будет заключаться в сравнении начальной и конечной ситуации и выявлении того, чем именно они отличаются друг от друга. Затем можно в списке допустимых подстановок найти такое преобразование, которое приводит к устранению ненужных букв и появлению нужных. Осуществляется подстановка, замена одной группы букв другой. Очевидно, что в результате такой замены ситуация приближается к той, которая поставлена в виде цели. Однако, в возникающей системе могут появляться новые ненужные буквы и исключаться те, которые нужны. Для этого может быть применена следующая подстановка и т. д.

Таким образом, рассматривая начальную и конечную ситуацию и возможные преобразования, можно сформулировать некоторые тактики осуществления подстановок, которые в конечном итоге приведут к желаемому результату. Такая идея формального представления процесса была реализована в различных вариантах, при разработке которых большое значение имело использование принципов логического мышления человека. Затем создавались программы для ЭВМ. Во многих случаях они оказывались эффективными. Были сделаны попытки использовать эти программы в различных конкретных задачах, например при игре в шахматы, в процессе доказательства теорем, в решении некоторых задач, связанных с организацией производства, и т. д. В целом были получены положительные результаты. Созданные кибернетические системы, которые в их конкретном варианте включали ряд дополнительных усовершенствований, показали свою эффективность во многих случаях. Но в то же время были обнаружены и их существенные недостатки. Программы оказались слишком элементарными, простыми по сравнению со сложным мышлением человека.

В чем же заключалась эта «тупость» программы «общий решатель проблем»? Чем она отличалась от реального мышления человека? Советские психологи О. К. Тихомиров и В. Н. Пушкин провели специальные исследования. Они сравнивали процесс принятия решений эвристической программой и человеком. Например, сравнивалась игра в шахматы, осуществленная программой и специалистом. При этом использо-

вались достаточно интересные приемы психологического анализа, в частности регистрировалось движение глаз человека во время игры. На этой основе можно было понять, каким образом человек рассматривает шахматное поле, на какие элементы игры он обращает внимание, и подойти в конце концов к анализу тактик принятия решений человеком.

В этих работах было достаточно убедительно показано, что человек использует совершенно иные приемы исследования, которые было трудно сравнивать с характером принятия решений эвристической программой.

В работах, указывающих на недостаточность эвристических программ, справедливо отмечалось, что во многих случаях при принятии решений человек не может определить четко той конечной ситуации, к которой он стремится, в то время как при работе программы «общий решатель проблем» такое определение было необходимо. Так, если конструктор проектирует новое техническое устройство, то он рассматривает различные варианты и в конечном итоге может прийти к совершенно новому представлению о принципах организации создаваемого им уникального изделия. Для него важно не конкретное описание результата, а реализация некоторых более общих принципов, которые определяются заказчиком при создании новой машины. В процессе поиска решения конструктор использует интуитивное представление о легкости или сложности реализации того или иного проекта, у него возникают определенные ориентиры поиска. Каким образом этот более сложный процесс принятия решений может быть реализован в виде модели?

В работах психологов было указано также на то, что человек в процессе своей деятельности не только стремится к достижению цели, но и ставит новые «подцели», осуществляется так называемый процесс «целеполагания». Ученые подробно изучили различные случаи возникновения новых целей, обстоятельства, при которых они возникают. Они указали на то, что программы, создаваемые специалистами в области эвристического программирования, не реализуют этих особенностей мышления человека.

Конечно, можно было сказать, что программа «общий решатель проблем» в каком-то смысле ставит

подцели, например она ставит перед собой задачу устранить какую-либо букву, которая присутствует в начальной ситуации и отсутствует в конечной. Однако этот процесс имеет примитивный характер и не отражает сложную систему возникновения мотивов деятельности, которая свойственна человеку. Наконец, чек-лист, как правило, не просто решает задачи. Он так преобразует саму постановку проблемы, приводит ее к такому виду, который допускает эффективное решение.

Человек способен обнаружить скрытую внутреннюю сущность проблемы и определить истинные задачи, увидеть их сквозь «оболочку» маскирующих факторов. В наши дни большой интерес вызывает головоломка «венгерский кубик», или «кубик Рубика». На первый взгляд головоломка кажется неразрешимой. Перебор всех вариантов настолько велик, что трудно рассчитывать на успех. Работа мозга в этой ситуации основывается на том, что человек в своей интуитивной деятельности находит возможность для выявления скрытых структур и объективно существующих постановок новых задач, которые допускают решение. Эвристические программы этого делать не могут.

Подобные же трудности возникли и в области построения программ, связанных с распознаванием образов и выработкой понятий. Первоначально казалось, что такие модели сделать не так уж трудно. Достаточно создать программу, которая будет статистически обрабатывать все признаки и выделять те из них, которые присутствуют в опознаваемых объектах. Определенным образом группируя эти признаки, можно создать абстрактные понятия, которые затем будут использоваться для анализа вновь возникающих перед «взором» эвристической программы ситуаций.

Однако попытки создать такие системы, которые на первых стадиях работы приводили к положительным результатам, указали на недостаточность этих общих принципов. Психологи справедливо отметили, что понятия, формируемые человеком, определяются не на основании сходства многих объектов и выявления таким образом общих признаков, а в результате работы более сложных механизмов.

Интересные выводы сделаны советским исследователем-психологом С. Л. Рубинштейном. Согласно его

представлениям первоначальным этапом создания понятий является построение информационных конструкций, в которых определяется их значение и место в общей системе. Только на втором этапе начинается обобщение и анализ признаков тех объектов, которые соответствуют уже созданной «мыслительной структуре». Такая идея тесно связывает процесс формирования понятий с использованием определенной организации внешнего мира. Понятие вырабатывается только потому, что во внешней среде имеются факторы, определяющие возможность и целесообразность их формирования для решения проблем, возникающих в окружающей человека действительности.

Каким же образом осуществляется этот процесс? Ведь пока не выработаны отдельные понятия, нельзя говорить о формировании структуры более высокого уровня, а пока не создана структура, нельзя начать построение отдельных понятий. Возникает как бы замкнутый круг, из которого не видно выхода. Эти рассуждения привели некоторых ученых к выводу о том, что эвристическое программирование не может стать основой, приближающей к разгадке тайн мышления человека.

Так ли это на самом деле? Конечно, в настоящее время не вызывает сомнения, что описанные выше программы отражали только очень простые механизмы информационной деятельности. Человек в целом мыслит не так, как «мыслит» эвристическая программа. Но имеются ли существенные доказательства того, что в качестве определенного компонента такая программа не входит в арсенал мышления человека? Ведь различие в конкретных экспериментах могло быть результатом того, что помимо принципов, используемых программой «общий решатель проблем», мышление человека могло использовать и другие алгоритмы. Это не исключало актуальности рассмотрения эвристической программы как определенного компонента мышления.

Большая трудность в оценке результативности этого метода связана с тем, что психологические исследования не отвечали на вопрос, а какие же собственно механизмы лежат в основе мышления человека. Изучая движение глаз человека, регистрируя биоэлектрические явления головного мозга и кожно-гальваниче-

ские реакции, которые отражают возникновение эмоциональных реакций, исследователи все же не могли проникнуть в тайны информационной деятельности. В каждом конкретном случае общая картина поведения человека, например при игре в шахматы перенесение взгляда с одной части поля на другую, имела специфический характер. Различные тактики рассмотрения фигур трудно было сопоставить друг с другом. В каждой ситуации человек действовал по-разному, и поэтому не было предпосылок для выявления каких-то универсальных общих правил и закономерностей.

Метод статистической обработки экспериментальных данных не приводил к положительным результатам. Статистически можно было обрабатывать какие-то однородные данные. А при анализе мышления человека каждый раз испытуемый формулировал различные целостные планы и тактики действия. Например, в одном случае он стремился осуществить выгодный размен фигур, в другом — выиграть пешку.

Не приводили к положительному результату и многочисленные попытки исследователей настолько упростить экспериментальные ситуации, чтобы можно было получить простые однозначные результаты. Применение простых опытов приводило к исчезновению тех сложных задач, которые определяли сущность интеллектуальной деятельности. Поэтому полученные результаты нельзя было использовать для объяснения механизмов мышления.

Таким образом, с одной стороны, были доказаны недостатки эвристических программ, а с другой — не удалось наметить эффективных путей преодоления трудностей и организовать тесной связи исследования в области психологии с развитием работ по построению искусственного интеллекта.

Приведенные выше сведения о работе алгоритмов и о путях их выявления позволят нам глубже понять сущность разногласий, возникших между психологами и создателями эвристических программ. Действительно, на первых этапах развития кибернетики не удалось построить моделей, отражающих сложные формы работы мозга. Исследователи, создающие модели «искусственного интеллекта», не только не имели сведений о сложных алгоритмах работы мозга, но и не использовали тех методических приемов исследо-

ваний, которые могли бы привести к их раскрытию. Не были известны трудности, которые возникают при попытках раскрытия сложных информационных механизмов высшей нервной деятельности. В связи с этим созданные программы были весьма примитивны. Вместе с тем означало ли это, что эвристическое программирование полностью дискредитировало себя? Видимо, нет. Если методы моделирования использовать в тесном содружестве с экспериментальным изучением алгоритмов, если в основу исследования поставить разработку теории высшей нервной деятельности, основанной на построении абстрактной системы, то, вероятно, можно добиться положительных результатов.

Оценивая роль эвристического программирования и его место в общей системе исследований, ведущих к созданию «искусственного интеллекта», следует подчеркнуть важность ряда введенных новых положений. В этой области науки была четко определена и доказана на основе построения моделей необходимость изучения информационных систем как самостоятельного явления. Была продемонстрирована необходимость рассмотрения более сложных систем взаимодействия между информационными системами и реализующим их функционирование физико-химическим субстратом. Большое значение имела идея о возможности представления сложных информационных систем как результата объединения элементарных информационных процессов.

Эти выводы, полученные при развитии эвристического программирования, совпадают с теми описанными нами ранее результатами, к которым пришли исследователи на основе разработки учения И. П. Павлова. Однако при сравнении обеих тенденций развития науки следует отметить и существенное различие. Разработка теории высшей нервной деятельности обеспечила научный анализ различных сложных форм работы мозга. Эвристическое программирование не располагало такими методами. Этим определялись отмеченные выше трудности в его развитии. Были построены только очень простые модели процесса принятия решений. Не удалось организовать исследования механизмов более сложных форм работы мозга, для того чтобы можно было построить элементы «искусственного интеллекта».

## СИСТЕМА ЗНАНИЙ. СЕМИОТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Трудности, возникшие при попытках создания «искусственного интеллекта», как в области использования математических методов, так и в области эвристического программирования, привели группу советских исследователей к мысли о необходимости пересмотра основных путей исследования. Сформулированная новая программа вначале была определена как программа «ситуационного управления», или «семиотическое моделирование».

Мышление человека тесно связано с использованием слов, абстрактных понятий. Проблема моделирования процесса смыслового понимания текста при работе вычислительных машин не может быть решена только на основе использования математики или построения эвристических программ общего типа. Необходимо широкое введение в структуру моделей понятий, слов.

Такая формулировка проблемы указывала на сходство нового направления с ранее уже осуществленными попытками в области построения частных эвристических программ. Это привело некоторых исследователей к выводу о том, что данный метод не позволит избавиться от ошибок «детского периода развития эвристического программирования». Однако семиотические программы имели и существенное отличие. Дело в том, что исследователи не воспроизводили в программах всех ранее выработанных у человека систем осмысленных понятий, они пытались положить в основу работы моделей искусственного интеллекта ограниченный список простых «базовых понятий», конструкций, предоставляя решать задачу формирования более сложных положений и оперирования ими самим вычислительным машинам, реализующим семиотические программы поведения. Работы в этом направлении оказались перспективными, они привели к практическому результату. Например, создание программ, позволивших оптимизировать работу порта, находить решение задач прохождения судов по шлюзам, дало положительные результаты и в целом ряде других областей.



При развитии этого направления ведущее значение приобрела проблема построения моделей «системы знания» человека. Казалось, что при создании «искусственного интеллекта» достаточно представить в форме «банка данных» все сведения и термины, используемые специалистами в той или иной области, создать специальную систему управления комплексом фиксированных знаний и обеспечить возможность логического вывода. Такие системы по замыслу их создателей должны были позволить специалистам общаться с вычислительной машиной на привычном для них языке, они могли оказать существенную помощь в принятии решений.

Опираясь на достижения в этой области кибернетики, некоторые исследователи полагали, что современная наука уже близка к решению задачи построения искусственного интеллекта. При этом они опирались на определение одного из основоположников кибернетики английского ученого Тьюринга. Пытаясь определить понятие «интеллектуальной деятельности», которое, вообще говоря, является достаточно сложным и не допускает простого формального толкования, Тьюринг прибегнул к несколько своеобразному приему. Он обрисовал ситуацию, в которой человек ведет диалог с машиной, и указал, что если человек, который ведет беседу по определенной проблеме, в течение длительного периода времени не находит различия между тем, разговаривает ли он с человеком или с машиной, то это достаточно убедительное доказательство того, что имеет место построение хорошей модели «искусственного интеллекта». Некоторые исследователи в области кибернетики считают, что на основе использования современных достижений науки можно создать машины, которые будут удовлетворять описанным критериям Тьюринга. Специалист, беседуя с такой машиной, может получать достаточно разумные ответы на свои вопросы. Он может даже прийти к выводу, что его собеседник — специалист того же профиля.

Такие выводы могут показаться убедительными. Однако в действительности возникают серьезные возражения. Дело в том, что диалог специалистов друг с другом представляет собой один из простых видов умственной деятельности. В этих условиях использу-

ется достаточно ограниченный круг известных обоим собеседникам технических терминов и понятий. При этом не реализуются более сложные формы мышления, не возникает работа более совершенных информационных механизмов, которые лежат в основе выработки новых абстрактных понятий, создания новых представлений, отыскания принципиально новых решений и т. д. Информационная деятельность вращается вокруг известных проблем и известных понятий, которые сформулированы в виде определенных систем представлений с ограниченным количеством вариантов преобразования элементов. Следовательно, «критерии Тьюринга» вряд ли можно считать удовлетворительными.

Создание семиотических программ и построение моделей «системы знаний» представляет собой существенное достижение современной кибернетики. Однако оно не привело к преодолению трудностей, которые возникали и на первом этапе развития эвристического программирования. Семиотические программы закрепляли те понятия, формы мышления, те алгоритмы, которые были уже выработаны у человека в прошлом. Таким образом, хотя они и позволяли имитировать определенные виды умственной деятельности, но не могли стать базой построения новых алгоритмов. Например, программа, которая моделирует деятельность конструктора, не могла обеспечить возможностей отыскания принципиально новых методов конструирования, коренного усовершенствования этого процесса, она повторяла только то, что человек уже делал ранее.

Перед наукой и техникой возникали задачи иного типа. Методы конструирования и проектирования были созданы в прошлом, когда человек не мог опираться на помощь вычислительных машин и сами объекты конструирования были достаточно простыми. Именно в этих условиях выработались определенные понятия. Приемы проектирования и конструирования были представлены в виде специальных учебных пособий, инструкций, передаваемых одним специалистом другому.

Организация систем управления (министерств, трестов) также была фиксирована в виде определенного комплекса понятий (языка). Действующие ныне

системы управления — это работа больших коллективов специалистов, которые осуществляют свою творческую деятельность в контакте с вычислительной техникой. Однако вся эта система создавалась и развивалась в условиях, когда существовали экстенсивные принципы развития народного хозяйства и относительно простые системы управляемых объектов. В настоящее время системы связи между предприятиями, отраслями промышленности значительно усложнилось, возрос объем и разнообразие тех предприятий, которые входят в ту или иную отрасль промышленности. Нужны новые методы и средства управления, основанные на интенсивном принципе. Как же решать эту задачу, если существующие системы управления возникли в результате творческой деятельности специалистов в период, когда средства вычислительной техники еще не были созданы?

Описанные выше методы построения кибернетических систем не обеспечивали условий для решения этих проблем. Они использовали язык специалистов, который не позволял решить проблемы коренного изменения принципов проектирования, конструирования, совершенствования структуры управления. Они закрепляли то, что было достигнуто ранее. Тем самым не создавалось предпосылок для организации диалога человека и машины с целью повышения эффективности мыслительной деятельности. Такой путь исследования не обеспечивал раскрытия и формального описания тех информационных задач, алгоритмов и информационных механизмов, которые лежали в основе таких сложных форм работы мозга, как прогнозирование, исследовательская деятельность, способность к постановке новых проблем. Результаты ограничивались воспроизведением в форме программ для ЭВМ системы уже выработавшихся у человека ранее понятий, конкретных процедур решения, известных законов логического вывода. Таким образом, не создавалось предпосылок для изучения механизмов работы мозга.

Приведем пример, поясняющий отличие между различными путями построения моделей. Говоря о специфике метода, разработанного И. П. Павловым, мы уже определили различие между внешним

проявлением поведения животного в опытах, в частности строительством пирамиды из ящиков, и основными механизмами мышления. После периода обучения обезьяна может научиться строить пирамиды. При этом у нее вырабатывается определенная программа поведения, включающая ряд понятий. Например, она будет ставить сначала большой ящик, а затем маленький. Такую программу можно относительно легко воспроизвести на вычислительной машине, и она будет в какой-то степени отражать поведение обученного животного. Но эта модель не может рассматриваться как элемент «искусственного интеллекта». Это не интеллект, а частная, вторичная программа.

В настоящее время ученые построили большое количество «роботов», которые способны перемещаться, обходить препятствия, соблюдать равновесие, осуществлять работу, связанную, например, с погрузкой железнодорожной платформы. Часто такие роботы называют «роботами с элементами интеллекта». Они удовлетворяют ряду требований, которые предъявляет промышленность. Построение таких автоматов имеет большое практическое и теоретическое значение. Однако вряд ли можно говорить об «элементах интеллекта». Это реализация частных, уже сформированных человеком и вложенных в структуру робота программ, эффективных в некотором классе ситуаций.

Мышление человека складывается из двух взаимосвязанных категорий процессов. При осуществлении процесса и проектирования и конструирования можно выделить два уровня информационной деятельности. Человек использует те принципы, которые были заложены в процессе обучения профессиональным навыкам. Такие правила легко выявить и воспроизвести в виде модели. Однако наряду с этим мышление специалиста основано и на другой категории процессов: на использовании инвариантных принципов преобразования информации, которые определяли возможность наиболее сложных творческих процессов принятия решений. В том случае, если ставится задача организации диалога с целью повышения эффективности творчества, нужно опираться на знания обеих категорий процессов, учитывая, что при построе-

нии семиотических моделей воспроизводится только часть этой системы.

Один из принципиально новых путей решения данной проблемы связан с построением гипотезы о наличии в структуре информационных систем так называемых ФРЭИМов. Эта гипотеза предполагала специальную организацию структуры. В ней выделяются незаполненные места. При создании модели «искусственного интеллекта» эти места заполняются определенными содержательными понятиями. Причем заполнение осуществляется инженером, создающим модель. Таким образом, ФРЭИМ представляет собой композицию структуры инвариантного типа и разработки конкретных семиотических моделей. Возникает система, которая обладает достаточно интересными свойствами. Она работает в конкретной области и в то же самое время в результате возможности замены определенных ячеек ФРЭИМа другими понятиями обладает большой степенью лабильности.

На этой основе советскими специалистами под руководством известного кибернетика Д. А. Поспелова были разработаны эвристические программы, которые были способны сочинять сказки. Создавалась некоторая структура ФРЭИМа, которая заполнялась различными конкретными сигналами. Сказка имеет определенные черты, которые являются общими для различных конкретных художественных произведений. Эти черты реализуются в виде ФРЭИМа, затем осуществляется заполнение ячеек.

Следует отметить, что в связи с заполнением одних ячеек возникают и предпосылки для выбора последующей информации. Таким образом, машина оказывается способной сама создавать сюжет сказки исходя из некоторых первоначальных предпосылок. В этом случае роль инженера — создателя искусственного интеллекта — ограничивается тем, что он разрабатывает общую структуру ФРЭИМа и формирует первичные понятия. Машина сама начинает разрабатывать в дальнейшем содержание сказки исходя из определенных принципов.

При разработке этого направления возникли, однако, трудности. В то время как создание конкретных эвристических программ этого типа приводило к положительным результатам, было трудно разра-

ботать какую-то общую теорию, которая позволяла бы эффективно оценивать саму структуру ФРЭЙМов, давать прогнозы о том, какая именно их организация является наиболее оптимальной в том или ином случае, какие свойства приобретает система в результате построения из ФРЭЙМов более сложных структур. Так, были созданы эвристические программы, которые обеспечивали диагноз при ремонте радиоаппаратуры, эвристические программы управления производством и т. д. При этом каждый раз человек сам определял характер связей между понятиями (например, понятие города связывалось с понятием уличного движения, освещения и т. д.). Все это воспроизводилось в виде структуры ФРЭЙМа. При этом ФРЭЙМ обеспечивал достаточно высокий уровень «интеллектуальной деятельности». Однако характер одной программы значительно отличался по своим конкретным формам от характера другого ФРЭЙМа, поэтому было трудно сопоставить эти программы друг с другом и найти какие-то более общие законы, принципы функционирования ФРЭЙМов.

Интересна сама форма изложения работы в этой области. Обычно специалист рассказывает общую идею ФРЭЙМов, а затем начинает описывать конкретные программы в той или иной области. Естественно, слушатель, привыкший к более развернутым исследованиям в области «искусственного интеллекта», ожидает, что, после того как будет приведен ряд примеров, последует обобщение, которое будет представлено на абстрактном языке. Слушатель ждет ответа на вопрос, каким же образом идет выбор различных ФРЭЙМов, их создание, построение новых композиций из ФРЭЙМов. Однако оказывалось, что доклад уже окончен. Вопрос о том, были ли попытки использования какого-либо математического аппарата для создания теории более общего типа и более высокого уровня абстракции, приводил к отрицательному ответу.

Отмеченные выше неудачи и трудности, с которыми столкнулись исследователи, привели к тому, что в основном работы в этой области группировались вокруг проблемы построения модели «системы знаний» (памяти), в то время как целый ряд других форм работы мозга живых организмов оставался вне

поля зрения. Замедлился темп исследований в области создания целого ряда типов моделей, интеллектуальной деятельности, связанных с формированием систем понятий, систем представлений.

Специалисты в области построения «искусственного интеллекта» иногда высказывают мнение о том, что изучение работы мозга, естественного интеллекта, созданного природой, не имеет большого значения. Вычислительная машина превосходит мозг человека по скорости осуществления операций переработки информации. В связи с этим для нее, видимо, будут оптимальны такие алгоритмы решения задач, которые не использует мозг человека. Поэтому удобнее непосредственно создавать новые алгоритмы интеллектуальной деятельности, а не копировать то, что создала природа. Развивая такую систему аргументов, обычно ссылаются на примеры развития других областей науки и техники. В наши дни развитие техники не пошло по пути создания самолета с машущими крыльями, автомобилей, использующих конечности. Был избран новый путь, который не копировал то, что создала природа. Между тем современные самолеты летают быстрее птиц, а автомобили передвигаются быстрее животных и оказываются более экономичными с точки зрения затраты энергии, — говорят сторонники чисто технического пути построения «искусственного интеллекта».

С такими аргументами можно было согласиться, если бы уже существовала теория интеллекта человека, на основе которой можно выбирать оптимальные варианты путей построения полезных для человека технических систем. Однако в наши дни такой теории нет. Главная проблема — это проблема понимания основных механизмов интеллектуальной деятельности. При ее решении, видимо, следует использовать как путь построения технических систем, так и изучение тех примеров интеллектуальной деятельности, которые создала природа.

Возвращаясь к рассмотрению приведенных выше аргументов, можно, вероятно, согласиться с тем, что конкретная реализация законов аэродинамики, воплощенная в полете птицы, не оказалась удобной для развития современной техники. Однако не следует забывать, что при разработке теории великий

советский ученый Н. Е. Жуковский опирался на изучение крыла птицы. При этом он не стремился построить точную его копию. Как писал сам ученый, он шел по пути построения многостепенной идеализации. При этом на каждой стадии он исключал те или иные частные свойства объектов, строение крыльев отдельных видов птиц, насекомых и выявлял все более и более общие законы, создавал основу построения абстрактной теории. Затем, после того как теория была создана, открылись возможности для построения таких летательных аппаратов, которые нужны человеку, и одновременно удалось объяснить, как летают птицы, насекомые, понять, почему именно в процессе эволюции животного мира был избран тот или другой путь построения летательного аппарата.

Самый эффективный и прямой путь построения «искусственного интеллекта» — это, по-видимому, путь построения идеализации, путь создания абстрактной теории. Попытки непосредственного конструирования моделей в условиях отсутствия понимания сущности явлений интеллектуальной деятельности могут привести к удачным внешним имитациям. Однако при таком способе работы один тип моделей быстро заменяет другой. При этом работа над отдельными вариантами «искусственного интеллекта» не создает базы для разработки общей теории.



# ИНФОРМАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ РАБОТЫ МОЗГА

В результате использования описанных выше новых методов наметились пути преодоления основных трудностей, в течение многих столетий воздвигавших непреодолимые преграды к раскрытию механизмов работы мозга. Открылись возможности организации комплексных исследований, объединяющих изучение информационных систем и реализующего их функционирование нейрофизиологического субстрата. Однако по мере реализации этих возможностей стали открываться новые картины сложной организации. Выяснилось, что алгоритмы не являются основными компонентами, определяющими работу мозга. Они объединяются в более сложные организации, имеющие характер специфических информационных механизмов. Были выявлены другие компоненты, составляющие основу построения таких организаций. Далее было выяснено, что и информационные механизмы не представляют собой той основы, на которой строится сложная работа мозга. Они имеют производный характер и возникают в результате преобразования особой категории информационных структур абстрактного вида.

Этот вывод оказался неожиданным. Исследователи привыкли использовать термин «структура» для описания морфологических, физических, химических систем. Информационные структуры имели ряд особенностей. Они могли быть реализованы на различном физико-химическом субстрате и не могли существовать вне такого субстрата. В то же время законы их построения и функционирования не сводились к законам морфофизиологической организации. Такие структуры одновременно и существовали, проявляя свою деятельность в форме способности к

обучению, принятию решений, и как будто бы не существовали, так как их нельзя было обнаружить и описать в привычных для естественных наук формах. В связи с этим они ускользали от исследователя.

После того как были найдены способы обнаружения таких структур, их стали изучать. Один из наиболее важных принципов построения информационных структур — принцип многоуровневости. Наука уже давно столкнулась с проблемой изучения таких систем. Известны такие уровни исследования, как уровень изучения структуры атома, структуры молекулы, структуры химического соединения. Понятны сложные принципы соотношения уровней, необходимость их исследования специальными методами и описания результатов на различных языках. Однако наличие подобных принципов организации информационных систем все же могло показаться неожиданным.

Только после того, как были пройдены все перечисленные этапы исследования, открылись перспективы раскрытия механизмов работы мозга.

## БЛОКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Мы уже говорили о том, что многие ученые-физиологи свои надежды на разгадку тайны интеллекта тесно связывали с разработкой новых методических приемов исследования. Они полагали, что если окажется возможным изучать функции нервных клеток в условиях свободного передвижения животных, если будут найдены средства, позволяющие одновременно исследовать работу многих элементов в нескольких отделах мозга, то тайны мышления будут раскрыты.

На путях достижения этой цели в прошлом возникали, казалось, непреодолимые препятствия. Было трудно представить себе, каким образом можно регистрировать активность отдельных нервных клеток в процессе работы мозга. Удалось записывать только биоэлектрические явления, возникающие при совокупной работе многих тысяч элементов. Такие методики исследования не обеспечивали возможность анализа динамики активности и взаимодействия элемен-

тов, они также не позволяли регистрировать активность элементов при осуществлении сложного поведения. Само движение вызывало такие большие изменения потенциалов, которые маскировали процессы, происходящие при работе нервных клеток.казалось, что причина трудностей заключается именно в невозможности расчленить мозг на элементы, изучить, как реагируют отдельные нервные клетки и как они взаимодействуют друг с другом.

Шаг за шагом ученые преодолевали эти трудности. Новые методики позволяли регистрировать активность нервных клеток в условиях свободного передвижения животных. Был создан специальный станок, в котором обезьяна могла свободно двигать лапами. Чтобы получить лакомый кусочек апельсина или банан, обезьяна в этом станке могла производить различные действия, решать поставленные перед ней задачи, открывать крышки, заслонки, выдвигать ящики. Обезьяна могла обучаться новым системам действий, и в этих условиях эксперимента оказывалось возможным изучать работу нервных элементов одновременно во многих отделах мозга. Было достигнуто то, о чем ранее могли только мечтать исследователи.

Однако, когда казалось, что разгадка тайн механизмов работы мозга близка, выяснилось, что перед исследователями стоят новые мощные заслоны и преграды. В результате экспериментов было показано, что в основе даже самых простых форм поведения лежит комплексная работа многих отделов мозга. На различных стадиях формирования поведения изменяется характер констелляций, возникающих при функционировании нервных центров. Можно было выявить большую или меньшую степень участия того или иного отдела. Но оставались закрытыми пути для решения основных проблем: какую роль в общей системе играет каждый отдел мозга, почему создается та, а не другая констелляция, каким образом совокупная работа нервных центров приводит к формированию поведения? Без решения этих вопросов процесс исследования вряд ли можно было считать завершенным. Одно из перспективных направлений исследования, как уже говорилось, было связано с изучением нейрофизиологических механизмов

выработки условного рефлекса. Исследователи исходили при этом из предположения, что поскольку этот процесс — одна из основ работы мозга, то раскрытие физико-химических явлений, определяющих формирование временных связей, может привести к раскрытию механизмов высшей нервной деятельности. Однако и на этом пути ученых ожидали неожиданности и новые трудности.

Большой объем приведенных в этом направлении исследований показал, что при выработке условного рефлекса можно обнаружить активность нервных клеток практически во всех исследованных отделах мозга. Работами известного советского ученого Б. И. Котляра и его учеников было доказано, что при этом имеет место не только возникновение активности нервных элементов как ответа на включение сигналов, но и развитие комплекса длительных стационарных изменений в работе ансамблей нейронов (явление центрального тонуса).

Вместе с тем не удалось установить, какую именно роль играет каждый отдел и почему складывается та, а не иная интеграция в работе нервных центров. Оставалось неясным, почему для реализации простого явления, в котором как будто бы должны участвовать два нервных элемента, между которыми возникает временная связь, оказывается необходимой работа всего мозга в целом, всех его отделов. Фактически ученые не получили ответа на вопросы, которые составляют основу любого физиологического исследования. Создавалось впечатление, что полученные экспериментальные данные переросли те рамки, которые были созданы исходной теоретической концепцией. В таких условиях ни новые физические приборы, ни уникальные методы вживления тончайших электродов в структуры мозга не смогут обеспечить решение возникающих проблем.

По мере накопления данных нейрофизиологических исследований некоторые ученые стали сомневаться в том, что такой путь, определяемый старой концепцией, в конце концов может привести к раскрытию механизмов работы мозга. Академик П. К. Анохин в своей статье «В наших силах предотвратить угрозу», опубликованной в «Литературной газете», так охарактеризовал положение, сложив-

шеюся в этой области науки: «Мы должны признать, что современная нейрофизиология — наука о мозге — не имеет большой теории, которая могла бы вывести исследователя из тупика, образованного нагромождением неорганизованных фактов.

В такой ситуации нет ничего необычного. Отсутствие развернутой теории — довольно распространенный дефект в науке. Среди крупных ученых, подходящих к изучению мозга с совершенно различных позиций, укрепляется мнение, что дальнейшая детальная разработка отдельных вопросов приносит все меньше и меньше пользы, что надо заняться поисками общих принципов организации головного мозга. Многие выдающиеся исследователи с прискорбием констатируют нашу неспособность хотя бы в общих чертах описать эти общие принципы. И хотя ученые, исследующие работу мозга, трудятся не покладая рук, значительная часть их работы никогда и никем не будет использована, потому что опыты ставятся без всякой системы и специальная литература буквально наводнена сообщениями о весьма бессодержательных экспериментах»<sup>1</sup>.

П. К. Анохин и его ученики предприняли смелые и решительные шаги, для того чтобы вывести нейрофизиологию из возникшего тупика. Была создана концепция о работе функциональных систем и поставлена задача их теоретического и экспериментального исследования. Функциональная система — явление, которое не сводится к рассмотрению закономерностей формирования поведения или к рассмотрению нейрофизиологических систем. Это особая категория системных явлений, которые отражают функциональную сторону работы мозга. К их числу относится явление афферентного синтеза, формирования доминирующей мотивации, акцептора результата действия, принятие решений.

П. К. Анохин пришел к выводу о том, что простая система представлений об осуществлении реакций на внешние сигналы недостаточна для объяснения механизмов работы мозга. Любой деятельности мозга человека и животных предшествует процесс

---

<sup>1</sup> Анохин П. К. В наших силах предотвратить угрозу. — Литературная газета, 1969 г., 30 апреля.

привлечения нужной информации, ее преобразование и объединение в новые организации. Не подлежит также сомнению тесная связь формирования нового поведения с возникновением различных мотивов. Мотивы возникают и видоизменяются в процессе активной деятельности человека. Часто имеет место «столкновение», конкуренция различных мотивов и в конечном счете определение главного, «доминирующего» мотива. Был сделан также вывод о том, что параллельно с формированием новых программ поведения осуществляется построение систем оценок его результатов. Возникают специальные комплексы сигналов, с которыми сравнивается поступающая извне информация. Если имеет место совпадение, значит, план поведения был построен правильно и можно идти дальше по «намеченному пути». Если возникает «рассогласование» между «ожидаемым» и полученным результатом, то осуществляется процесс пересмотра планов. Актуальность такого механизма при формировании поведения человека и животных была доказана многочисленными экспериментами. Таким образом, внимание исследователей было привлечено к функционированию целостных единиц, блоков работы функциональной системы.

Ученики и последователи П. К. Анохина В. Б. Швырков, Е. А. Умрюхин, К. В. Судаков, В. А. Шидловский применили эту концепцию при анализе работы различных биологических систем и показали ее эффективность. Е. А. Умрюхин построил кибернетические модели, отражающие работу описанных выше компонентов функциональных систем. А. Р. Лурия и Е. Д. Хомская использовали теорию функциональных систем при анализе нарушений в работе мозга больных, у которых в результате травмы или хирургической операции была исключена из работы та или иная часть мозга.

Наряду с изучением функциональных систем в настоящее время большое значение приобретают исследования, которые указывают на наличие при работе мозга более сложных принципов организации информационных систем, связанных с образованием и функционированием целостных агрегатов, блоков, несущих специфические функции.

Членом-корреспондентом АН СССР Л. В. Кру-

шинским была создана система представлений о роли так называемых «унитарных» реакций при осуществлении «рассудочной деятельности» животных. Было доказано, что сложную информационную деятельность мозга нельзя представить себе только как функционирование систем условных рефлексов. Решающее значение приобретает взаимодействие целостных «агрегатов», «блоков», каждый из которых объединяет в своем составе системы как безусловных, так и условных рефлексов. При функционировании таких агрегатов (унитарных реакций) возникают специфические явления и законы, без знания которых невозможно подойти к пониманию сложных форм работы мозга и построению «искусственного интеллекта».

Л. В. Крушинский подробно изучил ряд таких организаций и выявил законы, определяющие их функционирование. Он показал, что на этой основе можно подойти к анализу «рассудочной деятельности» животных. Выявление роли унитарных реакций привело к возникновению нового этапа в изучении работы мозга. Стало очевидным, что при анализе интеллектуальной деятельности необходимо проведение работ на различных «уровнях интегративной деятельности».

Оказалось, что механизмы интеллектуальной деятельности не могут быть поняты только как результат процесса формирования и использования систем условных рефлексов, алгоритмов работы мозга. Функционируют сложные автономные организации, каждая из которых несет свои функции. Такие организации имеют информационный характер, не связанный непосредственно с принципами построения морфофизиологических систем.

Описанные исследования создали существенные предпосылки для организации комплексных исследований, объединяющих изучение информационных систем и реализующего их работу нейрофизиологического субстрата. Стало очевидным, что только такие подходы могут обеспечить раскрытие механизмов работы мозга. Поясним эту мысль на примерах.

Попытаемся представить себе процесс исследования какого-либо механизма, например оптической системы глаза. Начав рассмотрение с какой-либо части объекта, предположим хрусталика глаза, иссле-

дователь стремится понять функцию этого отдела, используя известные ему законы оптики. Определив функцию, в данном случае связанную с преломлением лучей света, он устанавливает связь хрусталика с другими частями механизма, например с работой сетчатки, мышц, изменяющих форму хрусталика. На этой основе исследователь подходит к раскрытию общих принципов функционирования системы, объединяющей работу многих частей в различных режимах ее работы, в частности при адаптации глаза к интенсивности света, к восприятию предметов на различном расстоянии от глаза и т. д.

При попытках организовать подобную процедуру исследования при изучении высшей нервной деятельности возникли трудности. Спецификой работы мозга являлось то, что основные функции этой системы были связаны с переработкой информации.

Изучая процессы пищеварения, дыхания, работу печени, почек, физиолог имел дело с такими объектами, для которых было свойственно единство структурной организации и функции. Например, изучая пищеварение, биохимические процессы, лежащие в основе расщепления жиров, углеводов, удавалось создать тесное сочетание выявления новых компонентов системы с анализом решаемых ими задач, с задачами разложения сложных химических соединений на отдельные компоненты и синтезом новых специфических для организма веществ. Это имело большое значение для исследователей. Ученый, описывая новый компонент в работе системы, имел возможность сразу определить его функцию, что приводило к возможности установления связи между частями системы, раскрытия целостной организации механизма, планомерного выявления недостающих компонентов изучаемой системы.

При изучении мозга на основе изолированного применения электрофизиологических методик такие возможности комплексного исследования, опирающегося на изучение частей системы и определения их функций в связи с их ролью в целостной системе, отсутствовали.

Ученые делали попытки создать представления о функциях изучаемой системы, исходя из описания таких явлений, как обучение, память, мотивация.



Однако мы видели, что все эти явления представляют собой вторичный результат интегративной работы целого ряда алгоритмов.

Конечно, при осуществлении любого из перечисленных видов деятельности мозга имеет место работа нервных центров. Однако, поскольку алгоритмы не имеют прямого соответствия с организацией морфофизиологических систем мозга, оказывается необходимым участие многих отделов мозга. Каждый из них выполняет свою специфическую роль в комплексной работе. Но эта роль не могла быть выявлена нейрофизиологическими экспериментами. Между исследуемым процессом формирования поведения и активностью нервных структур возникает такая сложная система промежуточных информационно-структурных преобразований, что ученый лишается возможности устанавливать функции как всей системы в целом, так и ее отделов. Фактически не удавалось подойти к раскрытию механизмов работы мозга, выявить ту роль, которую играет каждый отдел, и такую специфику в организации взаимодействия нервных центров, которая могла объяснить, каким образом работа мозга в целом приводит к возникновению психических явлений. Подводя итоги экспериментальных и клинических исследований, ученые часто приходили к выводу, что в осуществлении любой психической деятельности и любого поведения принимает участие весь мозг как целостная система. Для того чтобы преодолеть возникающие трудности, ученые делали попытки глубже проанализировать строение отдельных нервных клеток, биохимические процессы, ответственные за процесс возбуждения, структуру проводящих путей, определяющих характер связей между отделами мозга. Однако чем успешнее они осуществляли детальный анализ, тем дальше уходили от раскрытия механизмов. Не удавалось подойти к выявлению тех задач, которые определяют работу мозга и его организацию. Выявляя новые факты о функционировании нервных элементов, исследователь не мог оценить их значимость в работе целостной системы. Новые факты связывались с анализом физических и химических явлений, в то время как целостные системы основывались на функционировании информационных механизмов. Выход из создавшегося

положения мог быть найден только на пути организации комплексного исследования. При этом уже на первой стадии исследования должны были быть определены информационные задачи, составляющие основу работы мозга. Далее на этой основе должны быть построены целостные гипотезы о работе информационных систем. Значение всех новых фактов, получаемых в электрофизиологических и нейрохимических исследованиях, должно быть определено на основе анализа схем, отражающих работу информационных механизмов. Какие же предпосылки были уже созданы? Нейрофизиология располагала нужными методиками исследования и большим объемом накопленных фактов. Хуже обстояло дело с изучением информационных механизмов. Мы говорили об изучении алгоритмов. Возник вопрос, могут ли алгоритмы являться основой сложных форм работы мозга. Исследования указывали на то, что помимо алгоритмов решающее значение имеют более сложные целостные блоки функциональных систем. Как совместить эти две концепции?

Было важно также выяснить, нельзя ли представить работу блоков, например блока акцептора результатов действий, как определенную композицию, состоящую из простейших, определенных И. П. Павловым компонентов (рефлекс на комплексный раздражитель, условный тормоз и др.), и тем самым построить единую концепцию о работе информационных систем, или для этого нужно привлечь новые понятия, выявить какие-то дополнительные компоненты организации системы.

#### ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ

Была сделана попытка решения описанных выше проблем на основе аналитико-синтетического подхода. Идея исследования состояла в том, чтобы на стадии анализа на основе уже имеющихся в распоряжении исследователей сведений об алгоритмах попытаться расчленить сложные формы работы мозга на отдельные компоненты. На этапе синтеза ставилась задача, используя метод моделирования, из

этих компонентов вновь синтезировать целостное явление. Имелось в виду, что сочетание этих двух этапов исследования позволит выявить существование недостающих звеньев информационных систем. На этой основе можно будет поставить новые эксперименты с целью их детального изучения. По мнению инициаторов и исполнителей работы, такой путь должен был позволить выявить все компоненты информационных систем, раскрыть принципы их организации и взаимодействия друг с другом, а также решить поставленную выше проблему возможности представления агрегатов (блоков) информационных функциональных систем как организаций, состоящих из простых элементов.

В одной из работ, проведенной нейрокибернетиком Московского университета Н. В. Целковой, в качестве примеров интеллектуальной деятельности человека была выбрана головоломка, игра в «15». Напомним, что в определенный период времени эта игра настолько заинтересовала людей, что ею занимались почти все, проводились специальные конкурсы. Подобный же интерес в настоящее время вызывает другая головоломка «кубик Рубика». Хотя внешне обе головоломки отличаются друг от друга, однако можно установить некоторое внутреннее единство в характере решаемых задач.

Было показано, что применение моделей изученных ранее алгоритмов оказалось недостаточным. В связи с этим была поставлена задача выявления недостающих звеньев системы на основе использования описанной выше методики (с. 44) на установке, позволяющей изучать работу алгоритмов. Ставилась задача выявить те механизмы, которые используются в ходе решения головоломки.

Было обнаружено, что в рассматриваемых условиях перед человеком возникали специфические трудности. В ходе поиска испытуемые настолько интенсивно изменяли внешнюю среду, что процесс формирования отдельных условных рефлексов и их последующее объединение в систему оказывалось невозможным. Вместе с тем на каждом этапе поиска возникала необходимость переработки и запоминания такого большого количества вариантов, что их было трудно удержать в памяти.

Эти трудности предопределяли ряд специфических вторичных задач, которые решались в процессе работы мозга. Одна из них была связана с выделением автономных подсистем информационной деятельности. Решение этой задачи приводило к существенному сокращению объема переработки информации на каждой из стадий поиска. При этом возникали более частные задачи, такие как задача выбора автономных подсистем, допускающих их изолированное изучение и использование, задача совмещения в единое целое результатов работы над отдельными частями. Другая задача — первоначальное выявление общих принципов организации схемы, реализованной на экспериментальной установке с тем, чтобы затем оказалось возможным формирование отдельных условных рефлексов. И наконец, возникала задача исключения возможности захода в тупиковые ситуации, в которые попадали испытуемые и из которых затем трудно было выйти.

При проведении исследования было показано, что использование ранее описанных компонентов информационных систем (правил работы мозга, алгоритмов) недостаточно для решения этих информационных задач. Решение достигалось только в результате работы целостных информационных механизмов, которые включали алгоритмы только как одну из составных частей своей целостной организации. Был выявлен ряд других компонентов, из которых слагались информационные механизмы и были изучены принципы, определяющие объединение этих компонентов в целостные системы. Один из них — «вспомогательные системы условных рефлексов». Такие системы существенным образом отличались от изученных ранее систем условных рефлексов. Они сами по себе не становились основой выработки программ поведения и составляли тот костяк, на котором строилась работа механизмов. Эти факты были в значительной степени неожиданными для ученых, изучающих высшую нервную деятельность.

Как известно, в экспериментах И. П. Павлова условные рефлексы были связаны с получением биологически полезного результата и включались в формируемое у человека или животных «целесообразное» поведение. Н. В. Целковой были получены резуль-

таты, которые, казалось бы, противоречили этому основному принципу. Вспомогательные системы рефлексов не имели в качестве подкрепления какого-либо безусловного раздражителя. Основной функцией систем рефлексов нового типа не являлось получение полезного результата в форме удовлетворения какой-либо биологической потребности. Системы рефлексов формировались на основе других принципов и обеспечивали только создание основы для построения информационных механизмов.

Было обнаружено и другое интересное явление. Оказалось, что такие вспомогательные системы рефлексов включали незаполненные участки, т. е. участки, в которых отсутствовали конкретные раздражители. Этот факт на первых этапах рассмотрения результатов опытов вызывал недоумение. Основные принципы выработки условных рефлексов, разработанные И. П. Павловым и его учениками, предусматривали осуществление реакции животного на определенный раздражитель (например, звонок). В данном случае вырабатывалась структура, которая не содержала конкретных сигналов, а отражала только отношения между ними, типа взаимного дополнения или взаимного исключения компонентов. Вместе с тем такой путь выработки условных рефлексов имел очень большое значение при формировании поведения в сложных условиях внешней среды. Как уже говорилось, эксперименты показали, что в таких ситуациях выработка отдельных условных рефлексов оказывалась принципиально невозможной, так как человек закрывал себе пути поиска, все время изменяя внешнюю среду. В этих условиях трудности преодолевались за счет того, что первоначально имело место установление характера отношений, т. е. осуществлялась выработка системы с пустыми, незаполненными участками и таким образом определялись те места в структуре, на которых должны формироваться новые рефлекторные реакции. Затем вырабатывались условные рефлексы, включающие конкретные сигналы. Такой путь выработки обеспечивал возможности преодоления трудностей.

Большое значение имело также формирование при работе мозга новых сигналов со специальными функциями. Мы уже говорили о выработке системы под-

крепляющих раздражителей. Такие раздражители играют существенную роль при формировании новых систем условных рефлексов. Их формирование и использование определяется комплексом правил (алгоритмами).

В работах П. К. Анохина была выявлена специфическая роль сигналов другого типа — акцепторов результата действия. Эксперименты показали, что в процессе работы мозга у испытуемых формировались сигналы новых типов: так называемые «сторожевые сигналы», позволяющие избегать попадания в тупиковые ситуации; «опорные сигналы», играющие специфическую роль при выделении подсистем информационной деятельности; сигналы, обеспечивающие процесс управления при формировании новых систем условных рефлексов, и др. Были описаны алгоритмы, которые определяли формирование таких сигналов, и правила, регламентирующие процесс их использования.

Изменилась система представлений о системе отношений между врожденными (передаваемыми по наследству) и вновь вырабатываемыми в процессе жизни системами рефлексов. Было экспериментально доказано, что человек использует уже имеющиеся у него врожденные так называемые «эталонные системы рефлексов», не включающие конкретных раздражителей и отражающие только различные типы отношений между сигналами, например отношения взаимного исключения, взаимного дополнения или взаимозаменяемости элементов.

При осуществлении процесса формирования поведения человек анализирует внешнюю среду, оказывает на изучаемые объекты различные воздействия и, получая в результате информацию, по специальным тестам определяет применимость тех или иных имеющихся моделей эталонных структур (отражающих системы отношений). Затем он осуществляет специальные пробные действия, которые приводят к доказательству эффективности используемой целостной модели или комплекса моделей. Таким образом формируется новая структура вспомогательных систем условных рефлексов, которая в процессе работы мозга последовательно заполняется теми или иными сигналами.

Полученные выводы подтвердили созданную ранее концепцию Л. В. Крушинского о природе «уни-тарных» реакций как систем, объединяющих условные и безусловные рефлексy. Стало очевидным, что по наследству передаются структуры безусловных рефлексов типа «специфических матриц», которые отражают типы отношений и не включают конкретных сигналов. Эти матрицы определяют позиции, на которых затем формируются условные рефлексy.

Таким образом, был выявлен ряд новых компонентов, определяющих высшую нервную деятельность: а) различные типы вспомогательных систем условных рефлексов, б) эталонные врожденные системы рефлексов, в) различные типы «определяющих» сигналов, которые несут специальные функции, и конструкций, состоящих из таких сигналов.

Перечисленные выше компоненты составляли основу целостных информационных организаций. Было показано, что определенные формы объединения вспомогательных систем рефлексов, определяющих сигналов, эталонных систем рефлексов приводили к формированию новых информационных задач, на основе которых осуществлялось формирование и функционирование вторичных алгоритмов. В целом возникала организация информационных механизмов, в которых алгоритмы играли только роль одного из компонентов.

Полученные результаты внесли существенные коррективы в созданные системы представлений. Раньше мы говорили о правилах работы мозга, об алгоритмах. Теперь выяснилось, что работа алгоритмов осуществляется на основе функционирования определенной структурной организации: вспомогательных систем условных рефлексов и определяющих сигналов со специальными функциями. Такая организация имела чисто информационный характер. Возникла необходимость рассмотрения особой категории «информационных структур».

Этот вывод сначала показался неожиданным. Исследователи привыкли говорить о структуре в области физиологии, физики, химии. В этом случае ученые имели дело с некоторой реальной субстанцией, например организацией нервных клеток. Информационные структуры имели существенные отличия

чия. Они также были основой возникновения реально ощутимых явлений, таких как способность к обучению, решению проблем и др. В то же время такие организации не проявились при исследовании непосредственно. Их функционирование всегда должно было быть реализовано на некотором физико-химическом субстрате. Создавалась видимость того, что изучение этих систем могло быть достигнуто на основе использования методических приемов, разработанных в области физики и химии.

Однако при таком подходе информационные структуры неожиданно для исследователей исчезали из поля зрения. Организация информационных структур не совпадала с организацией реализующего их деятельность субстрата. Информационные структуры сохраняли постоянство своей организации при переходе с одного субстрата на другой и таким образом оказывались инвариантными по отношению к своим носителям. Вместе с тем в проведенных исследованиях было показано, что по сложности своей организации информационные структуры не уступали физическим и химическим системам. Одно из наиболее ярких проявлений сложности — многоуровневость и целостность организации информационных систем.

При изучении физико-химических систем, как известно, были выделены следующие уровни: структуры атомов, молекул, сложных химических соединений, объединяющих большое количество атомов, целостных систем (пищеварения, дыхания и др.). Была выявлена достаточно сложная картина взаимоотношений между функционированием отдельных уровней. Это создавало существенные трудности в исследовании. Известно, например, какая сложная и длительная работа была проведена исследователями, прежде чем оказалось возможным расшифровать организацию структуры атома или молекул сложных химических соединений.

В наши дни стало очевидным, что подобная многоуровневая организация существует и в мире информационных систем. На каждом из уровней возникают новые в качественном отношении явления. Вместе с тем структуры каждого более низкого уровня служат компонентами при построении системы более



высокого уровня. Такой принцип организации можно условно определить как атомно-молекулярный принцип. При изучении этих сложных систем путем проведения экспериментов, как правило, не удастся проникнуть в тайны строения промежуточных уровней организации. Они остаются вне поля зрения исследователя. Описанные выше методики раскрытия алгоритмов в этом случае также не могли оказаться полностью результативными.

Вновь перед учеными возникла проблема, как же проникнуть в тайны работы мозга. Каким образом, идя от рассмотрения простых элементов и тех организаций, которые возникают при их объединении в системы, выяснить структуру целостных блоков и законов их взаимодействия? Другими словами, как перейти от анализа «атомов» к пониманию строения «молекул» информационной деятельности? Каким образом проследить весь путь, идущий от определения элементов к формированию блоков, к анализу их свойств, правил взаимодействия и в конечном счете к пониманию того, что же такое интеллектуальная деятельность человека? Видимо, для решения этой проблемы было недостаточно использования одних только экспериментальных методов. Что же тогда необходимо?

Чтобы ответить на эти вопросы, ученые обратились к истории науки. Видимо, химия впервые столкнулась с существованием сложных систем, построенных по атомно-молекулярному принципу. Прошел целый ряд столетий, прежде чем из алхимии сформировалась и выкристаллизовалась современная научная химия. Существенную роль в ее построении играет символический язык описания структуры молекул сложных веществ и формул, отражающих законы их преобразования. Для чего служит такая система? Для нас такая форма представления настолько естественна, что мы не задумываемся над ее смыслом. Однако такой вопрос приобретает значение в связи с проблемой изучения информационных систем. Поэтому мы попытаемся на него ответить. Без использования символического языка описания было бы трудно представить целостные системы процессов и имело бы место неорганизованное нагромождение экспериментальных фактов. Невозможно было бы

формулировать общие законы, понять, как из атомов возникает структура молекул, изучить свойства целостных химических систем, законы взаимодействия веществ. Только на основе использования такого языка можно понять целостные процессы, лежащие в основе синтеза белков, жиров. Формулы используются для того, чтобы построить целостные гипотезы и поставить эксперименты для их подтверждения. Результаты экспериментов интерпретируются и получают свое обоснование также на языке формул.

Символические описания — одна из основ развития химии и биохимии. Это очевидно. Если попытаться представить себе современную науку без средств символического описания, то все стройное здание современной химии и биохимии распадется.

Другая существенная предпосылка развития науки — использование метода анализа и синтеза. Чтобы понять организацию систем различного уровня, оказалось необходимым искусственно создавать их из элементов. В процессе синтеза удавалось выявить основные законы взаимодействия компонентов и отразить их в символическом виде (типа систем формул и уравнений).

Ученые, изучающие информационные процессы, пришли к выводу, что и при исследовании мозга необходимы такая же совершенная система символического представления организации информационных структур и такие же эффективные методики анализа и синтеза, как и в химии. Как же создать такую систему? Проблема символического описания правил работы мозга была достигнута на основе использования формальной записи алгоритмов. Однако эксперименты показали, что алгоритм — это только одна из составных частей работы информационных механизмов, другая составная часть — это вспомогательные системы условных рефлексов, определяющие сигналы, т. е. информационная структура, на которой возникают задачи, определяющие работу алгоритмов. Значит необходимо иметь средства, позволяющие, исключив из рассмотрения частные случаи организации систем рефлексов, создать такую абстрактную систему, которая позволила бы выявить и описать общие законы построения и взаимодействие систем этого типа, понять, как из них образуются более

сложные блоки, как их организация порождает новые задачи, а на их основе формируются алгоритмы.

Рассмотрим, каким образом можно решить эту проблему. Известно, что построение абстрактных систем стало основой развития математики. При этом имело место выделение элементов, например в случае построения геометрии — точки, линии. Далее из таких элементов строились более сложные конструкции, в которых обнаруживались новые в качественном отношении явления, закономерности. Каждый отдел этой области науки абстрагирует определенный тип отношений, объективно существующий в окружающей действительности.

В результате осуществления процесса интуитивного творчества выдающимися мыслителями на основании анализа действительности (сотен примеров решения частных задач) выделялся тот или иной тип отношений внешнего мира и формулировались исходные абстрактные понятия типа «число», «высказывание», «множество», «вероятность» и др. Эти понятия обычно формально не определялись. Они вводились на основе демонстрации ряда примеров. Однако они определяли выбор типа отношений и в дальнейшем становились основой построения формальной системы.

Математику как науку до сих пор не интересовал описанный выше процесс становления и первых этапов развития формальных систем, связанных с взаимодействием человека-исследователя с внешним миром. Ее развитие начиналось только после того как в результате интуитивного мышления ученых основные абстракции были сформулированы. Возник вопрос, можно ли при изучении мышления использовать такие же пути построения теории. На этот вопрос был дан отрицательный ответ. Подобный путь рассмотрения явлений не мог создать предпосылки для изучения высшей нервной деятельности, для выбора элементов, определяющих построение абстрактной системы. Для работы мозга характерен процесс взаимодействия с внешним миром, процесс выявления новых систем отношений, а эти процессы не рассматривались в области математики.

Если бы исследователи попытались использовать элементы, положенные в основу формирования ка-

кого-либо одного из отделов математики, то они сузили бы область рассмотрения и потеряли бы возможность анализировать процесс интеллектуальной деятельности, приводящий, в частности, к развитию многих отделов формальной теории. Очевидно, что любые попытки построения абстрактной системы, полезной при изучении работы мозга, должны были быть связаны с рассмотрением процессов взаимодействия организма и внешней среды.

Мы уже говорили о том, что предпосылки для решения этой проблемы созданы И. П. Павловым. Великий физиолог исключил из рассмотрения конкретные свойства объектов, используемых в зоопсихологических экспериментах (в экспериментах на обезьянах ящики, палки и др.). Он построил исследование на основе изучения соотношения сигналов, не имеющих смысловой нагрузки, например, соотношения между условным сигналом и подкреплением. Таким образом исключалось маскирующее влияние частных ситуаций и обеспечивалось выявление общих закономерностей информационной деятельности. Такая абстракция позволяла выявлять правила работы мозга. Однако она была недостаточна для решения поставленной проблемы изучения организации информационных механизмов.

При описании вспомогательных систем рефлексов, составляющих основу работы алгоритмов и построения механизмов работы мозга, решающее значение имели не только и не столько сами сигналы, сколько отношения между ними (отношения взаимного дополнения или взаимного исключения элементов). Вместе с тем для каждого из рассмотренных нами выше информационных механизмов, например механизма формирования новых подкрепляющих сигналов, механизма выделения частей, предотвращения выхода в тупиковые ситуации и других, была характерна своя собственная специфическая система организации отношений между сигналами. Каждая такая система имела свои особенности, которые не позволяли изучать общие свойства и законы функционирования систем. Каждый механизм приходилось выявлять и изучать самостоятельно. Для того чтобы обнаружить общие законы, нужно было, по-видимому, абстрагироваться не только от значения сигнала

лов, но и от рассмотрения тех или иных частных схем механизмов, составляющих их основу отношений, и построить систему более общего типа. Было важно «посмотреть» на всю организацию информационных систем как бы «сверху» и вывести изучаемые явления как следствия из общей теории.

Интересный путь решения этой проблемы был найден в 1973 г. Н. В. Целковой. Она предложила абстрагироваться не только от конкретного значения сигналов, но и от специфики тех связей между ними, которые определяли особенности построения различных информационных механизмов.

Мы уже говорили, что свойства выявляемых алгоритмов зависели от структурной схемы эксперимента, от специфики вспомогательных систем рефлексов. Новая идеализация приводила к исключению возможности изучения и описания отдельных алгоритмов и информационных механизмов работы мозга. В чем же ее смысл? Подобные вопросы невольно возникали у физиологов при первом знакомстве с предложенной системой. Данные о конкретной структуре систем рефлексов и информационных механизмов были получены в результате длительного экспериментального поиска. Мы говорили, например, о выявлении принципов организации и работы отдельных алгоритмов, о роли подкрепляющих и сторожевых сигналов и т. д. При создании абстракции нового типа все эти явления исключались из рассмотрения. Создавалось впечатление, все исследование теряет смысл. Ведь именно их конкретное содержание и составляло основу анализа работы мозга! Если исключить из рассмотрения эти явления, то что же останется?

Однако возникали и контраргументы: построение каждой абстрактной системы более высокого уровня, конечно, исключает возможность рассмотрения той или иной категории процессов, но абстракция одновременно обеспечивает выявление другой, более общей системы законов, которая ранее была скрыта в результате маскирующего влияния более частных закономерностей.

Какие же соображения были положены в основу построения абстракции нового типа? Решает ли она задачу выявления новых законов? Вернемся к рассмотрению изложенных ранее представлений о вспо-

могательных системах условных рефлексов, создающих основу для работы алгоритмов и целостных механизмов. Было обращено внимание на то, что они включают одни и те же компоненты: рефлекс на комплексный раздражитель, условный тормоз, структуру типа цепочки. Все эти компоненты отражают процесс взаимодействия организма с внешним миром. В то же время они включают и основные системы отношений между сигналами: отношения взаимного дополнения, взаимного исключения и взаимозаменяемости компонентов.

Основная идея построения новой абстракции была в достаточной степени проста. Были описаны эти компоненты и начато осуществление процесса теоретического синтеза — объединение компонентов в более сложные конструкции. В процессе синтеза изучались те новые в качественном отношении явления, которые возникали в таких конструкциях. Была разработана их классификация и изучены свойства систем каждого из классов. Такое теоретическое рассмотрение и построение новых конструкций осуществлялось в тесной взаимосвязи с проведением экспериментов, направленных на изучение конкретных информационных механизмов. Преимущество этого подхода заключалось в том, что оказалось возможным теоретически рассмотреть разные формы информационной деятельности, дать анализ работы сложных целостных систем, построить эффективные гипотезы для проведения новых экспериментов. Тем самым были созданы предпосылки для преодоления описанных выше трудностей, возникающих при изучении многоуровневых систем, построенных по «атомно-молекулярному» принципу. Сочетая разработку теоретических схем с проведением экспериментов, оказалось возможным успешно переходить от изучения одного уровня системы к другому (от анализа атомов и структуры молекул) и таким образом получить возможность выявления принципов организации тех отделов системы, которые ранее оставались недоступными при использовании одних только экспериментальных методик.

Рассмотренный нами выше путь выбора элементов, тесно связанный с развитием учения И. П. Павлова, обеспечил преодоление ограничений, свойствен-

ных математике. Он базировался на основных положениях диалектического материализма о наличии причинно-следственных отношений и на теории отражения как основы информационной деятельности.

Возник вопрос: удастся ли использовать вновь созданную абстрактную систему так же эффективно, как это имело место ранее в области развития химии? Если бы удалось выявить общие законы и явления, определяющие функционирование любых информационных систем работы мозга, то поставленные цели исследования можно было бы считать достигнутыми. Тогда оказалось бы оправданным исключение из рассмотрения конкретных свойств систем рефлексов. В противном случае попытка была бы оценена как одна из ошибок в исследовании.

Поясним на хорошо известном всем примере развития и применения геометрии, что можно ожидать от использования абстрактной системы. Нам кажется привычным, что при рассмотрении формы предметов используются такие понятия, как линия, точка, квадрат, куб, прямоугольник. Однако до тех пор, пока эти идеальные объекты не были определены в области абстрактной теории — геометрии, решить вопросы, связанные с анализом формы предметов, например расчета площадей, было весьма трудно. Теперь, когда в рамках общей теории были сформулированы законы, описаны новые явления, возникающие в сложных системах, положение изменилось. В том случае, когда перед человеком возникают новые проблемы (например, связанные с анализом формы предметов), достаточно описать реальные объекты и явления внешнего мира, новые задачи на языке абстрактной теории, в частности опознать в них наличие квадрата, куба, треугольника, шара.

Поскольку в области теории уже определены правила, законы, то установление соответствия между реальными объектами исследования и идеальными конструкциями приводит к возможности выявления новых свойств рассматриваемых объектов реального мира и решения относящихся к ним задач, в частности задачи расчета площадей, объемов. На идеальных моделях возможно проведение теоретического рассмотрения принципов организации более сложных систем, установление возникающих в них новых яв-

лений, доказательство теорем. Теория обеспечивает возможность анализа работы сложных систем.

Можно ли рассчитывать на то, что абстракция, используемая при изучении информационных процессов работы мозга, приведет к подобным результатам? Удастся ли на основе представления реальных процессов на абстрактном языке теоретически вывести свойства более сложных информационных систем, а затем обнаружить их существование в реальных явлениях внешнего мира? Можно ли найти законы и описать новые свойства, которые имеют общее, универсальное значение? Удастся ли анализировать новые сложные формы информационной деятельности на основе обнаружения в них уже известных конструкций и описания объекта на языке теории? Окажется ли возможным на основе ранее уже установленных правил и законов, типов конструкций и законов их взаимодействия обнаружить в исследуемом объекте то, что не удавалось выявить ранее, или такая сложная система, как мозг человека, отличается от всего, что до сих пор знала наука?

Ответы на эти вопросы на первых этапах исследования не были однозначными. С одной стороны, были получены положительные результаты в изучении новых механизмов, с другой — не удалось решить задачи полной расшифровки механизмов сложных форм работы мозга, таких, например, как способность к самостоятельной постановке задач, к формированию новых алгоритмов.

Анализ возникающих трудностей привел Н. В. Целкову к выводу о необходимости построения абстрактной системы еще более высокого уровня. Мы говорили выше, о том, что идеализация первой категории привела к рассмотрению абстрактных информационных структур различных видов. Было высказано предположение о возможности и целесообразности исключить из рассмотрения конкретную организацию таких структур. Был введен символ  $\theta_k^{i+1}$ , который обозначает структуру любого вида, и определены операции над такими символами. Операция  $\theta^{i+1} = \bigcup \{\theta^i\}$ , в частности, означает процесс «порождения» структурой более высокого уровня абстракции множества конструкций  $\{\theta^i\}$  более низ-



кого уровня. Символы  $i, (i+m)$  означают уровни структуры. Символ  $k$  позволяет отличить одну структуру от другой. Примеров таких операций можно привести очень много. Так, любой закон в области физики может быть по-разному интерпретирован при создании различных конкретных приборов, математическая формула может быть применена для различных конкретных расчетов и т. д. Все эти примеры кажутся непохожими друг на друга. При изучении мышления было важно исключить из рассмотрения специфику частных примеров и иметь возможность изучать «порождения новых частных интерпретаций» как таковое.

Операция заполнения одной из информационных структур пустых мест (локусов), включенных в другую структуру, обозначается  $re\theta \rightarrow \cdot \rightarrow_{rem}\theta$ . Можно привести много примеров для иллюстрации этой системы отношений. Так, при решении математических задач имеет место подстановка конкретных чисел в формулу. При построении новой абстрактной системы II категории из таких отношений строятся композиции. Например, была сформулирована структура II категории следующего типа: из двух структур более высокого уровня строятся такие частные интерпретации  $\theta_{L,e}^i, \theta_{M,m}^i$ , которые не имеют противоречивых участков и в наибольшей степени удовлетворяют заданным критериям  $\theta_{зд}$ . Такие комплексные системы отношений определялись формулой

$$\begin{aligned} \theta_L^{i+n} &\dashv \xrightarrow{Pok\theta} \theta_{L,l}^i; \\ \theta_M^{i+l} &\dashv \xrightarrow{Pok} \theta_{M,m}^i; Pok\theta : \{ \theta_{L,l}^i \neq \theta_{M,m}^i; \theta_{зд} \cap \theta_{L,l}^i : - \max; \\ &\theta_{зд} \cap \theta_{M,m}^i : - \max \}. \end{aligned}$$

Важно подчеркнуть, что поскольку символ  $\theta$  означал любую из информационных структур I категории, то все выводы, сделанные на основании рассмотрения таких схем II категории, приобретали общее значение. Они должны были оказаться справедливыми при изучении любых алгоритмов и информационных механизмов.

При рассмотрении описываемых структур II категории возникал вопрос, удастся ли при их изуче-

нии выявить какие-либо существенные новые свойства и закономерности. Мы видели, что такие абстрактные системы исключали возможность рассмотрения алгоритмов и информационных механизмов и оказывались непригодными для решения многих актуальных проблем. В то же время, если бы удалось обнаружить в таких конструкциях новые в качественном отношении явления и законы, можно было бы вывести многие частные закономерности. Потеряв в области рассмотрения отдельных алгоритмов, исследователи приобрели бы возможность решать другую, не менее важную проблему раскрытия механизмов создания новых алгоритмов и информационных механизмов при работе мозга.

Дальнейшие исследования подтвердили справедливость этих прогнозов. Использование абстракции II категории открыло возможности для анализа сложных механизмов интеллектуальной деятельности человека. Удалось подойти к решению таких основополагающих проблем, как проблема анализа способности человека к самостоятельному формулированию задач и к созданию новых алгоритмов их решения. При этом выяснилось, что абстрактные языки обоих описанных выше категорий — это не только средство для изучения работы мозга. Было доказано, что описанные информационные структуры и законы их преобразования используются мозгом человека в процессе его деятельности. Именно они определяют способности к интуитивному творческому мышлению, в частности к разработке новых отделов математики. Человек располагает структурами двух описанных категорий и использует в процессе мышления специальные механизмы их преобразования. При восприятии и анализе сложных ситуаций, складывающихся во внешней среде, имеет место опознавание и последующее доказательство применимости таких структур. На этой основе осуществляется переход от восприятия конкретной информации к постановке задач и их решению на абстрактном уровне. Результаты затем представляются вновь в конкретном виде.

В результате использования описанной абстрактной системы была выявлена сложная организация механизмов, ответственных за такие явления, как

восприятие информации, формирование новых мотивов поведения, изменение поведения при возникновении эмоций и ряде других явлений, определяющих работу мозга. Эти данные оказались важными для расшифровки организации целостных морфофизиологических систем работы мозга.

Были созданы предпосылки для нового пути исследования, основанного на построении целостных теоретических гипотез и их экспериментальной проверке. В связи с этим открывались возможности рассмотрения целостных функциональных систем на различных уровнях организации экспериментов.

Такой подход к решению проблем может показаться неожиданным. Мы привыкли думать о физиологии как о науке экспериментальной. Однако поставим вопрос иначе. Можно ли было надеяться, что при изучении механизмов такой сложной системы, как мозг, удастся ограничиться использованием только одних экспериментальных методик исследования? Опыт развития других областей науки заставляет усомниться в этом. Еще в XV в. Николай Коперник ввел в науку новый принцип, сущность которого заключалось в том, что не всякое кажущееся, видимое движение действительно и не всякое действительное движение заметно, ощутимо.

В науке самый точный эксперимент может привести к ложным выводам. Так, любая самая точная экспериментальная методика может только подтвердить ошибочное заключение о том, что Солнце вращается вокруг Земли. Только путем построения целостной абстрактной модели можно было доказать обратное. Вспомним в этой связи о дискуссии, которая была описана И. С. Тургеневым в его романе «Рудин». Один из героев романа Пигасов утверждал, что истиной можно считать только то, что человек видит, в чем он может непосредственно убедиться. Если бы все люди думали так, возражал ему Рудин, то до сих пор не была бы создана гелиоцентрическая теория организации солнечной системы.

Роль абстракции не вызывает сомнения там, где наука уже совершила восхождение на новые вершины. Но в то же время, когда ставится вопрос о создании абстракции в какой-то новой области науки, то это часто кажется неестественным. Психологу

трудно представить себе, что можно изучать мышление, абстрагируясь от таких понятий, как «подумал», «решил». Как можно организовать исследование, не используя экспериментальные методики, основанные на изучении конкретной деятельности человека?

Ученые, работающие в области медицины и отдающие все свои силы тому, чтобы понять причины болезней и найти способы их лечения, иногда с трудом могут представить себе, как можно изучать развитие гипертонической болезни, не используя таких понятий, как «кровенное давление», «изменение стенок сосуда склеротического типа» и т. д. Абстрагируясь от них, исследователь как будто уходит от реальной науки в область беспредметных общих рассуждений. Казалось бы, при анализе заболевания ничем нельзя пренебрегать, ни от чего нельзя отказаться, все детали очень важны.

Между тем, если взглянуть на вещи с более общих позиций развития методологии науки, то такой новый этап развития может быть оценен как вполне закономерное явление. Все области науки проходили стадию экспериментального исследования и стадию построения абстрактной теории. Проведенные исследования подтвердили то, что можно было ожидать и раньше, а именно: что и при изучении мозга как сложного явления природы, как системы, возникшей в процессе эволюции, также возникнет проблема построения абстрактной теории.

Все перечисленные выше предпосылки привели к возможности построения эффективных методических приемов изучения работы мозга, которые обеспечивали создание единства в исследовании структуры и функции. Функции работы мозга непосредственно связаны с переработкой информации. Поэтому новые подходы предусматривали анализ работы информационных механизмов. Исследование начиналось с определения тех основных задач, решение которых составляло основу работы мозга. Выше мы уже говорили о путях их выявления.

Далее создавались целостные схемы, отражающие работу информационных механизмов. На этой основе осуществлялся анализ всех получаемых в эксперименте фактов, устанавливалась их роль в целост-

ной системе и планировались новые эксперименты с целью доказательства правильности сделанных предположений о наличии ранее неизвестных компонентов системы. После того как оказывались выявленными основные информационные механизмы, открывались возможности для анализа сложных комплексных систем, например процесса проектирования, административной деятельности, конструирования. В этом случае выявлялась скрытая информационная основа этих явлений. Известно, что процесс проектирования промышленных зданий, культурных объектов представляет собой реализацию комплекса методических приемов, которые приобретаются специалистами в процессе их обучения в вузах. Однако наряду с этим большое значение имеет и использование более общих механизмов интеллектуальной деятельности, например проектирования.

Было показано, что основу этой деятельности составляет целый ряд информационных механизмов, в частности механизмы принятия решений при наличии противоречивых ситуаций, механизмы выделения автономных подсистем информационной деятельности, механизмы предотвращения захода в тупиковые ситуации, механизмы перехода от чувственного восприятия информации к постановке абстрактных задач и др. Алгоритмы, являющиеся компонентами этих механизмов, были ранее изучены в результате проведения аналитических экспериментов.

При изучении процесса проектирования были построены композиции из этих алгоритмов и таким образом была создана система представлений о сущности информационных задач и алгоритмов, составляющих основу этого вида интеллектуальной деятельности. Фактически была создана абстрактная теория проектирования. Эта теория используется при решении практических задач.

В настоящее время, когда создаются автоматизированные системы проектирования (САПР), встает задача организации тесного взаимодействия человека с вычислительной машиной. На первых этапах оказалось возможным воспроизвести в виде программ для вычислительных машин частные профессиональные навыки. Были использованы также математические методы расчета. Например, на основе опроса

экспертов-проектировщиков создавалась система оценки различных вариантов проекта, а затем специальные программы, реализуемые на вычислительных машинах, осуществляли количественные расчеты, приводящие к выбору оптимального варианта. Такие методы приносили большую пользу.

Однако в то же время возникали и определенные сомнения. Дело в том, что современный процесс проектирования — это работа большого коллектива специалистов, осуществляющих творческую деятельность. Использование вычислительной техники приводило не только к возможности более точных расчетов, но и к существенному изменению всей организации работы. Исключались или существенно образом видоизменялись методы и процедуры решения и многие стадии интеллектуальной деятельности.

Возникал вопрос, не приведет ли это к снижению эффективности процесса проектирования, к тому, что будут упущены некоторые реальные возможности оптимизации проектных решений. Эти проблемы в настоящее время широко обсуждаются специалистами. Вывод, к которому обычно приходят участники дискуссий, заключается в необходимости построения абстрактной теории проектирования, в рамках которой могла бы быть определена значимость всех отдельных интеллектуальных операций.

Такая теория должна создать надежную основу для решения вопроса о том, какие именно компоненты целостного процесса следует передать вычислительным машинам и как организовать их взаимодействие с человеком. Описанные выше методы исследования, обеспечивающие возможность анализа сложных форм интеллектуальной деятельности человека, оказались полезными при решении этих проблем. Специалисты в области автоматизации процесса проектирования совместно со специалистами-физиологами осуществили большую работу, которая привела к решению многих спорных вопросов и позволила организовать новые формы взаимодействия человека с вычислительной машиной.

Новые возможности возникли и для развития медицины. Ученые пришли к выводу о том, что сложность организации информационных механизмов и их свойства, связанные с «порождением» но-

вых систем, изменением формы существования этих механизмов, создают потенциальную опасность для человека. Если в таких системах в результате неправильной оценки значимости сигнала, поступившего из внешнего мира, ошибочного использования алгоритма или сбоя в работе какого-либо элемента управляющей системы произойдут нарушения, то их последствия могут быть очень серьезными. Может начаться целый цикл вторичных процессов, возникнут новые алгоритмы и новые ненормальные, вредные для организма системы управления работой печени, сердца и других органов.

Такие изменения могут внешне не проявляться. В этом случае можно будет обнаружить только отдельные симптомы, проявляющиеся в виде изменения кровяного давления, уровня сахара в крови, возникновения инфаркта миокарда и других болезней. Истинная причина болезни окажется при этом замаскирована частными проявлениями. Врач, тщательно исследующий работу отдельных органов, проникающий в тайны биохимических систем, составляющих основы их деятельности, окажется бессильным в распознавании истинных причин болезней.

Для того чтобы понять механизмы появления болезни, ученые расчленяют сложные объекты, на части, но когда они, казалось бы, достигают возможности рассмотрения таких элементарных процессов, которые не допускают дальнейшего расчленения, оказывается, что они не приблизились к разгадке причины болезни. Чем детальнее исследователь изучает отдельные элементы системы, тем дальше он оказывается от раскрытия информационных механизмов. Они существуют в целостных системах и в то же время не могут быть обнаружены при простом экспериментальном анализе, основанном на изучении частей.

Поясним эту мысль на примере. Чтобы выявить причины некоторых заболеваний, необходимо исследовать роль различных отделов центральной нервной системы в регуляции работы сердца. Как известно, раздражение блуждающего нерва приводит к замедлению ритма его сокращений. Ученые проводили аналитические эксперименты, в ходе которых путем использования специальных приборов осуще-

ствлялось раздражение одного из отделов мозга — гипоталамуса. Эксперименты по изучению изменения реакции сердца, вызванного раздражением блуждающего нерва, привели к интересному, но противоречивому результату. Оказалось, что активность гипоталамуса может в одних случаях подавлять, а в других — усиливать эффект, вызванный раздражением блуждающего нерва, т. е. оказывать и тормозное, и возбуждающее действие. Для того чтобы получить более однозначные результаты, исследователи предприняли попытки расчленить систему на части, изучить ее более детально. Проводилось раздражение или перерезка различных отделов центральной нервной системы, но этот путь не привел к успеху.

В основе управления работой сердца лежит сложная целостная информационная система. Ее нельзя раскрыть путем проведения одних только аналитических экспериментов. Чем дальше ученые идут по пути разделения морфофизиологической структуры на части и их детального изучения, тем более удаляются они от раскрытия истинных информационных механизмов. Исследованиями В. В. Аристовой и Ю. А. Аристова подтвердилась актуальность изучения патологических систем управления. С помощью теоретических схем были созданы гипотезы о возможных патологических информационных механизмах. Такие схемы предусматривали возникновение патологически замкнутых циклов, в которых одна из информационных систем приводила к возникновению сигналов, активизирующих работу информационных механизмов. Последние, в свою очередь, оказывали стимулирующее воздействие, связанное с формированием новых активирующих сигналов. На основании этой схемы была создана модель экспериментальной ситуации, которая должна была в опытах на собаках привести к развитию стойкой гипертензии. Эксперименты подтвердили справедливость созданной гипотезы. У всех подопытных животных начался рост кровяного давления. Теоретический анализ тех же схем позволил разработать тактики лечения. Таким образом, изучение информационных механизмов приводит не только к познанию работы мозга, построению искусственного интеллекта, но и к решению практически важных проблем.



# ОГЛАВЛЕНИЕ



Введение	3
<b>Условный рефлекс и алгоритм</b>	5
Учение И. П. Павлова и кибернетика	7
Алгоритмы и работа мозга	17
Алгоритмы и пути развития учения И. П. Павлова	31
<b>Мозг человека, мышление и кибернетика</b>	43
Пути выявления алгоритмов при изучении работы мозга	44
Теория автоматов в системе исследований высшей нервной деятельности	60
Эвристическое программирование и исследование информационной деятельности	68
Система знаний. Семиотическое моделирование	80
<b>Информационные механизмы работы мозга</b>	89
Блоки информационных систем	90
Организация информационных механизмов	98

**Анатолий Викторович Напалков, Луиза Леонидовна Прагина**  
**МОЗГ ЧЕЛОВЕКА И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ**

Зав. редакцией *Н. М. Глазкова* Научный редактор *И. М. Жуков* Редактор *Э. И. Кранс* Обложка художника *Б. А. Валита* Художественный редактор *Б. С. Вехтер* Технический редактор *Г. Д. Колоскова* Корректоры *М. И. Эльмус, Г. В. Зотова*

ИБ № 2130

Сдано в набор 28.02.84. Подписано к печати 24.12.84. Л-79947. Формат 84×108/32. Бумага тип. № 3. Гарнитура литературная. Высокая печать. Усл. печ. л. 6,3. Уч.-изд. л. 6,37. Тираж 21 300 экз. Заказ 338. Цена 20 коп. Изд. № 2040.

Ордена «Знак Почета» издательство Московского университета. 103009, Москва, ул. Герцена, 5/7. Типография ордена «Знак Почета» изд-ва МГУ. 119899, Москва, Ленинские горы

Цена 20 коп.

# **МОЗГ ЧЕЛОВЕКА и искусственный интеллект**



Раскрытие физиологических механизмов, лежащих в основе интеллекта человека, в течение многих столетий привлекало внимание исследователей.

В наши дни успехи в этой области достигли такого уровня, что оказалось возможным создание кибернетических моделей искусственного интеллекта. Удалось «научить» машину играть в шахматы, доказывать математические теоремы.

Как соотносятся изучение работы мозга и построение искусственного интеллекта, какие препятствия возникали на этом пути и как удалось преодолеть их? На эти и многие другие вопросы можно получить ответ в предлагаемой книге.