

МОДЕЛИ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ (Вычислительные системы)

1998 год

Выпуск 164

УДК 519.7:510.2:510.8

ФОРМАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ МОЗГА, ОСНОВАННАЯ НА ПРИНЦИПЕ ПРЕДСКАЗАНИЯ¹

Е.Е.Витяев

В в е д е н и е

В работе [14] на неформальном уровне излагается второй из принципов работы мозга — предсказание, изложенный предварительно в [12]. В то же время данная работа продолжает серию работ по исследованию принципов работы мозга, начатую в работах [12,13]. В работе [13] был рассмотрен первый из принципов работы мозга — целеполагание. Принцип целеполагания был взят из теории, внешней по отношению к теории функциональных систем работы мозга П.К.Анохина, и был получен как обобщение понятия задача. В самой теории функциональных систем одними из основных понятий были понятия результат и потребность. В работе [13] было показано, что, во-первых, понятие цель обобщает понятие задача, во-вторых, оно объединяет понятия потребность и результат теории функциональных систем в одно понятие и, в-третьих, позволяет более точно определить все остальные понятия теории функциональных систем, наполняя тем самым понятия цель и задача физиологическим содержанием. Это позволило применить к теории функциональных систем результат [18] о необходимости формализации задач в слабых формальных системах и получить формальную модель работы мозга, основанную

¹Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 96-06-80570.

на принципе целеполагания, как иерархию слабых формальных систем. Тем самым, был установлен **концептуальный мост** между двумя теориями через основное понятие обеих теорий — цель, как принцип обеих теорий.

Аналогично мы поступим с принципом предсказания. Физиологическим содержанием наполнен термин "вероятностное прогнозирование", введенное Фейгенбергом и использованное П.В.Симоновым в информационной теории эмоций. Подробно это показано в работе [14]. Предсказание является термином философской логики. В работах автора [9,11] (см. разд. 1) показано, что существующие формализации понятия предсказания не адекватны. Там же дается новая формализация понятия предсказания (см. разд. 2), использующая вероятность. Тем самым, понятие предсказания через понятие вероятностного прогнозирования получает физиологическую интерпретацию в информационной теории эмоций П.В.Симонова. Это устанавливает **концептуальный мост** между понятием предсказания, формализованным в [9,11], и информационной теорией эмоций П.В. Симонова. Используя этот концептуальный мост, мы получаем физиологическую интерпретацию понятия предсказания не только в теории эмоций П.В.Симонова, но и в теории функциональных систем работы мозга П.К.Анохина. Это дает возможность вывести новую формальную модель нейрона (разд. 3), дать физиологическое объяснение роли предсказания в деятельности мозга и вывести, в результате, формальную модель работы мозга, основанную на принципе предсказания, на нейронном уровне (разд. 4). Полученная модель позволяет объяснить те свойства теории функциональных систем П.К.Анохина (разд. 4) и теории схем восприятия У.Найсера (разд. 5), которые остались необъясненными в предыдущей работе [13].

В работе [14] на неформальном уровне показано, что оба принципа (целеполагания и предсказания) могут быть синтезированы в один — **главный принцип работы мозга**. Он состоит в том, что эмоции, как главная движущая сила любого целенаправленного поведения, двухпараметричны. Они зависят как от эмоциональной оценки достигаемого результата, так и от вероятностной оценки возможности достижения результата. Приведем еще

раз основное утверждение П.В.Симонова: "Суммируя результаты собственных опытов и данные литературы, мы пришли в 1964 г. к выводу о том, что *эмоция есть отражение мозгом человека и животных какой-либо актуальной потребности (ее качества и величины) и вероятности (возможности) ее удовлетворения*" [21]. Рассмотрим теперь как главный принцип работы мозга может быть формализован.

1. Формальный анализ главного принципа работы мозга

1.1. **Формальная модель работы мозга, основанная на принципе целеполагания, и главный принцип работы мозга.** Из теории функциональных систем следует, что достижение каждой цели осуществляется последовательностью и иерархией функциональных систем и соответствующих результатов, и, следовательно, каждая цель автоматически разбивается на последовательность и иерархию подцелей, приводящих к достижению цели. Полученное дерево целей и дерево результатов образуют ту **логическую** схему достижения цели, которая разрешает парадокс цели [13] и определяет способ ее достижения. Эта схема является логической, так как достижение цели и получение результата вполне описывается логически — цель может быть либо достигнута, либо нет, и результат может быть либо получен, либо нет, в противном случае это не результат. Из теоремы о формализуемости задач [18] в рамках слабых формальных систем, следует, что достижение любых целей может быть описано логически в рамках иерархии слабых формальных систем и тем самым **принцип целеполагания и формальная модель работы мозга, вытекающая из этого принципа**, вполне могут быть представлены как **иерархия слабых формальных систем**. Когда процесс обучения закончен и действие становится **автоматизированным** (без эмоций и ориентировочно-исследовательской реакции) и когда результаты действия точно совпадают с ожидаемыми, тогда вероятностное прогнозирование (с вероятностью 1) сводится к логическому выводу, и процесс достижения цели вполне может быть описан логически. Поэтому, логика (математическая логика) как раз и предназначена для точного описания автоматизированных действий. Но этого, как следует из информационной теории эмоций (см. [14]), недостаточно

для описания способа достижения мозгом своих целей. Как показано в [14], главной целью работы мозга является стремление максимизировать положительные и минимизировать отрицательные эмоции, включая, входящие в них, вероятностные оценки достижимости результата. При этом, поскольку эмоциональные оценки достигаемого результата фиксированы, то в процессе достижения цели, главной целью работы мозга является максимизация второго параметра — вероятности достижимости цели. Поэтому в процессе достижения цели главной целью организма является не принцип целеполагания, а наоборот принцип вероятностного прогнозирования. Рассмотрим какие формальные методы известны в настоящее время относительно формализации процесса вероятностного прогнозирования.

В таких областях, как искусственный интеллект, философская логика, принятие решений, вероятностная логика и т.д. рассматривается только логическая схема достижения результатов. А как же тогда осуществляется вероятностное прогнозирование? Во всех перечисленных областях вероятностные оценки предсказания осуществляются "вдогонку" (параллельно) логическому выводу. Таким образом, во всех этих областях, на первое место ставится логический вывод, т.е. принцип решения задач, а вероятностные оценки вычисляются в соответствии с полученной иерархией задач. Тем самым вероятностное прогнозирование и принцип предсказания ставятся в подчинение принципу целеполагания. А мозгом, в процессе достижения своих целей, наоборот на первое место ставится достижение максимальных вероятностных оценок достижения цели, а уж логическая схема достижения цели выстраивается исходя из максимальной этих оценок. Следует понять, что мозг — это не логическое, а прежде всего предсказывающее устройство. Но, как мы увидим, теории предсказания и, следовательно, формализации принципа предсказания нет и быть не может, пока логический вывод ставится на первое место. Причина этого имеет очень давнюю традицию и связана с тем, что логический вывод всегда рассматривался в рамках аксиоматического подхода к построению теорий и, впоследствии, автоматически был перенесен на знания.

1.2. Критика аксиоматического подхода к знаниям.

Проанализируем подробнее, что известно о вычислении вероятностных оценок предсказания в искусственном интеллекте, экспертных системах, принятии решений и вероятностных логиках. Во всех этих областях безоговорочно принимается аксиоматический подход к знаниям. Мы имеем в виду не идеализированные знания, например, математические, а эмпирические, имеющие некоторую степень достоверности, вероятности, подтвержденности и т.д. В дальнейшем мы всегда будем иметь в виду именно эмпирические знания. Аксиоматический подход к знаниям предполагает, что если некоторые знания каким-то образом установлены (вместе с оценками их вероятности, достоверности и т.д.), например, каким-либо индуктивным методом, методом обучения, "извлечены" из эксперта опросом и т.д., то все утверждения, получаемые из них с помощью правил логического вывода, также являются знаниями. Оценки их вероятности (достоверности, подтвержденности и т.д.) могут быть получены по правилам вероятностной логики (нечеткой логики и т.д.) "вдогодку" логическому выводу. Рассмотрим вероятностные оценки выводимых знаний. Вычислению этих оценок посвящены работы по вероятностной, нечеткой и т.д. логике [27-29, 31-40]. Есть работы, в которых вероятность (достоверность и пр.) рассматриваются как значения истинности утверждений, а процесс логического вывода обобщается до так называемой "количественной дедукции" (дедуктивных систем, в которых значения истинности непрерывны и принимают значения в интервале $[0,1]$) [35,36,40]. В работах [35,36,40] описываются довольно богатые формальные системы, содержащие как частные случаи основные известные "количественные дедукции". Но несмотря на значительный прогресс в разработке формальных систем все они без исключения основаны на аксиоматическом подходе к знаниям. Анализ изменения оценок вероятности утверждений в процессе логического вывода показывает, что они всегда уменьшаются, причем, как правило, существенно (за исключением случая, когда условная вероятность или вероятность равны 1), и полученные оценки нельзя улучшить, даже если ограничиться использованием правил

с условной вероятностью не меньшей, чем, например, $1-\epsilon$, как это сделано в работе [27]. И это не случайно.

Дело в том, что использование математической логики и, в частности, правил вывода неявно предполагает абсолютную достоверность (или гипотетичность) используемых в выводе знаний и отвечает требованиям сохранения истинности, а не вероятности. Это подтверждается тем фактом, что при применении правила вывода *modus ponens* из $A, A \Rightarrow B$ следует B , оценка вероятности $m(B)$ всегда строго меньше оценки вероятности $m(A)$, вычисленной по правилам вероятностной логики из $m(A)$ и $m(B/A)$ (за исключением случая, когда $m(B/A) = 1$, тогда $m(A) = m(B)$). Иными словами, только достоверное знание ($m(B/A) = 1$) не уменьшает вероятность, в любом другом случае она строго уменьшается. Только при достоверном знании можно применять правила вывода неограниченное число раз, и только в этом случае они действительно являются правилами вывода — сохраняют некоторую оценку (истинности или $m(A) = 1$). Неограниченное применение правил вывода к вероятностным знаниям неприменимо, так как может приводить к знаниям, имеющим сколь угодно низкую оценку вероятности и фактически уже не являющимися знаниями. Как мы покажем далее, если отказаться от аксиоматического метода и правил вывода, то можно построить такой семантический вероятностный вывод, оценки предсказания которого наоборот всегда будут строго возрастать.

Таким образом, в философской логике, искусственном интеллекте, принятии решений, экспертных системах, вероятностных, нечетких и т.д. логиках и других областях, использующих математическую логику, главенствующую роль всегда играл принцип целеполагания, формально представленный аксиоматическим методом. Перенос аксиоматического метода на эмпирические знания неправилен, поэтому необходимо изменить существующую парадигму — аксиоматический подход к знаниям — и построить такую формализацию, где главной целью знаний являлись бы их оценки предсказания, вероятности (достоверности и т.д.). Только в таких формальных системах можно пытаться строить формальную модель работы мозга. В рамках старой парадигмы это принципиально невоз-

можно. К счастью, в настоящее время математическая логика развита настолько, что давно уже вышла за рамки аксиоматического метода, и в ней существуют самые разнообразные формальные системы. Выясним, какая из них соответствует главному принципу работы мозга.

1.3. Семантический подход к формализации главной цели работы мозга. Таким образом, для получения максимальных вероятностных оценок предсказания необходимо отказаться от аксиоматического подхода к знаниям и использования правил вывода. Как это можно сделать?

Первый шаг к получению вероятностных оценок предсказания был сделан в "количественных дедукциях", где значения истинности были обобщены до значений вероятности (достоверности и пр.). Но в количественных дедукциях сохраняется очевидное несоответствие: при обобщении значений истинности не обобщаются правила вывода. Правила вывода применяются для сохранения значений истинности, но если значения истинности обобщены, то и правила вывода должны быть обобщены так, чтобы сохранять эти обобщенные значения, а не старые значения истинности. Каким образом можно обобщить правила вывода?

Рассмотрим процесс вычисления с точки зрения "семантического" подхода к программированию [30]. Идея семантического программирования состоит в том, чтобы процесс вычисления, обобщающий логический вывод, рассматривать как проверку истинности утверждений (включая возможное использование логического вывода) на некоторой модели. При таком взгляде на процесс вычисления процедуру логического вывода можно обобщить, определяя новые взаимоотношения высказываний и модели. Можно рассмотреть, например, не только проверку истинности, но и проверку предсказуемости, подтверждаемости, достоверности и т.д. высказываний на модели. Такие выводы будем называть семантическими. Для семантического вывода проверку истинности можно заменить на поиск максимальной предсказуемости (имеющей наибольшую оценку условной вероятности), наиболее сильно подтверждающих фактов, наиболее достоверных фактов и т.д. Это возможно потому, что истинность имеет только два значения, а вероятность, подтвержденность, достоверность и

т.д. имеют континуум значений. Поэтому, если использовать не два значения истинности (истина, ложь), среди которых не имеет смысла искать "наиболее истинное", а искать высказывания, имеющие наилучшие значения истинности в континууме значений, то поиск наиболее вероятного, достоверного и т.д. утверждения уже имеет смысл. В этом случае мы, вообще говоря, даже не нуждаемся в правилах вывода (см. рис. 1 на с.12).

Как отмечалось, главной целью работы мозга является достижение наилучшей вероятностной оценки прогноза достижимости результата. Конкретизируем эту цель как **принцип предсказания: мозг способен автоматически осуществлять предсказания, обеспечивающие максимальные оценки прогноза достижимости результатов.** Если мы определим такой семантический вероятностный вывод, который способен обеспечить данный принцип, то его можно взять в качестве основы для формализации принципа предсказания. Такая формализация семантического вероятностного вывода в виде специально определенного вероятностного вывода была осуществлена в работах автора [9,11].

2. Формализация принципа предсказания

Определим вероятностный вывод удовлетворяющий, сформулированному выше принципу предсказания. В следующем разделе аргументируется, что вся воспринимаемая мозгом информация и поступающая на его вход афферентация может быть представлена некоторым множеством одноместных предикатов.

В работе [9,11] определены **"лучшие для предсказания правила"** как правила вида $P_1 \& \dots \& P_k \Rightarrow P_0$, где P_0 — предсказываемый предикат, P_1, \dots, P_k — предикаты, выбранные среди всех имеющихся, конъюнкция которых обеспечивает неухудшаемую оценку предсказания. Оценку предсказания определим как условную вероятность $\mathcal{P}(P_0/P_1 \& \dots \& P_k)$ истинности предиката P_0 при истинности посылки $P_1 \& \dots \& P_k$. Неухудшаемость оценки означает, что эта оценка локально максимальна, т.е. ее нельзя улучшить ни добавлением новых предикатов (или конъюнкций нескольких предикатов) в посылку (уточнением условия), ни удалением одного или нескольких предикатов

из посылки (обобщением условия). Предсказываемый предикат P_0 может иметь несколько "лучших для предсказания правил" с различными оценками условной вероятности. Ни одно из этих правил нельзя получить из другого путем добавления или удаления нескольких предикатов посылки, хотя очевидно, что любое из этих правил можно получить из любого другого одновременным удалением и добавлением. Обозначим множество всех "лучших для предсказания правил" через PR . Принцип предсказания тогда конкретизируется следующим образом: "мозг должен уметь автоматически обнаруживать множество правил PR , дающих максимальные оценки вероятности достижимости результатов".

Найти все посылки $P_1 \& \dots \& P_k$ правил, обеспечивающих максимальные оценки предсказания, нужно кроме того в условиях, когда мы не знаем вероятностей, а знаем только статистику, по которой можно вычислять некоторые оценки. При малой статистике мы не можем достаточно надежно гарантировать локальную максимальность. Как же тогда мозг может обнаружить множество PR ? Это оказывается возможным если организовать направленный поиск посылок с локально максимальными значениями. Им является семантический вероятностный вывод, который менее чувствителен к недостатку статистики и, как показывает машинное моделирование (ссылки приведены ниже), вполне приемлем практически.

Семантический вероятностный вывод осуществляется путем построения "уточняющего" графа (рис. 1). Правила, начиная с P_0 (посылка правила в данном случае пуста), где P_0 — произвольный предсказываемый предикат, "уточняются" добавлением предиката (конъюнкции предикатов) в посылку так, чтобы условная вероятность при каждом добавлении строго возрастала. Кроме того, каждое полученное правило должно быть **вероятностной закономерностью** (требование частичной локальной максимальности) — из правила нельзя удалить никакой предикат (конъюнкцию предикатов) так, чтобы условная вероятность увеличилась или не

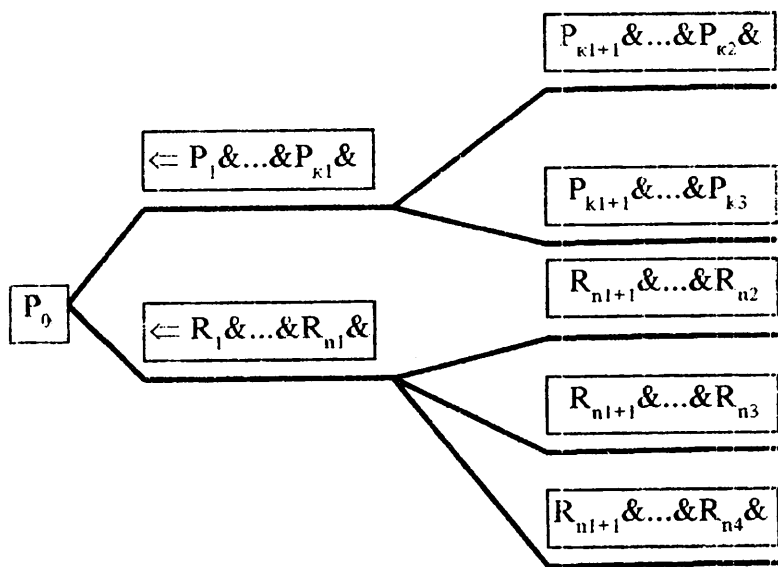


Рис. 1

уменьшилась². В "лучших для предсказания правилах" требуется еще, чтобы посылка правила была максимально точна в том смысле, что нельзя было бы добавить какой-нибудь предикат (конъюнкцию предикатов) так, чтобы условная вероятность повысилась. Но, как мы уже сказали, сразу этого требовать нельзя, так как не будет достаточной статистики для проверки этого условия. Поэтому в уточняющем графе предикаты (конъюнкции предикатов) добавляются постепенно, однако с тем условием,

²В работах [9,11] рассматривается более общий случай, когда язык содержит функциональные символы и правила содержат термы, но в случае, когда функциональных символов нет, данное определение вероятностного вывода получается из определения, приведенного в [9,11], как частный случай. На самом деле здесь мы немного упрощаем формализацию, не вводя функциональные символы. Для полной формализации, когда необходимо "извлечение инвариантов", как обнаружение мозгом законов, функциональные символы нужны. Эта более подробная формализация будет приведена в дальнейших работах.

чтобы правило было вероятностной закономерностью. "Уточнение" ветви графа завершается, когда невозможно уже добавить какой-нибудь предикат (или конъюнкцию предикатов) так, чтобы условная вероятность увеличивалась, что и означает выполнение второго условия локальной максимальности. Поэтому в конце каждой ветви графа мы получаем "наилучшее для предсказания правило". Такой вывод полностью определяется целью предсказания — достижением наилучших вероятностных оценок предсказания. Кроме того, он обладает замечательным свойством: в отличие от оценок предсказания, которые вычисляются "вдогонку" логическому выводу и всегда уменьшаются, в семантическом вероятностном выводе оценки предсказания всегда строго увеличиваются.

Включим во множество *PR* все вероятностные закономерности, которые получаются на промежуточных этапах вероятностного вывода. Такое включение необходимо по двум причинам: во-первых, оно не ухудшает возможности получения максимальных оценок предсказания в случае наличия полной информации, так как предсказание всегда осуществляется по закономерностям, имеющим максимальные оценки предсказания среди всех применимых в данной ситуации; во-вторых, в случае дефицита информации или новизне ситуации (как в случае компенсаторной функции эмоций (см. [13])), когда самые сильные закономерности неприменимы из-за невыполнимости условий, промежуточные закономерности могут быть с успехом использованы, хотя и имеют немного меньшие оценки условной вероятности. Тот факт, что предсказание всегда осуществляется по закономерностям, имеющим максимальные оценки вероятности, подтверждается данными нейрофизиологии: при замыкании условных связей на уровне отдельного нейрона скорость проведения импульса от условного стимула к аксону нейрона, т.е. скорость ответа нейрона на условный сигнал, тем выше, чем выше вероятность получения какого-либо полезного Результата. Поэтому нейрон будет реагировать прежде всего на закономерности, имеющие максимальные значения условной вероятности.

Как следует из определения, "лучших для предсказания правил" они всегда являются вероятностными закономерностями.

Нетрудно видеть, что каждая вероятностная закономерность включена как составная часть в некоторое "лучшее для предсказания правило" и, значит, принадлежит PR . Поэтому множество PR является множеством всех вероятностных закономерностей. Множество PR включает в себя не только все конечные ветви графов, но и все промежуточные вершины и соответствующие им правила. В этом случае принцип предсказания конкретизируется следующим образом: "мозг должен уметь обнаруживать все вероятностные закономерности PR , дающие максимальные оценки вероятности достижимости результатов, на имеющихся данных".

В работах [9,11] доказано, что с точки зрения предсказания множество вероятностных закономерностей PR превосходит (дает лучшие оценки условных вероятностей) любой логический вывод (с параллельным вычислением оценок условных вероятностей по правилам вероятностной логики). Точнее, в [9,11] доказано, что для любого доказательства некоторого предиката P_0 по правилам из PR и некоторому множеству фактов D , во множестве PR всегда найдется всего лишь одна вероятностная закономерность $P_1 \& \dots \& P_n \Rightarrow P_0$, предсказывающая на тех же фактах D заведомо не хуже, чем с помощью этого доказательства. Таким образом, для целей предсказания множество PR всех вероятностных закономерностей сильнее логического вывода. Кроме того, в [9,11] показано, что "уточняющий граф" несмотря на свою простоту является формальным обобщением логического вывода и может рассматриваться как семантический вывод, не требующий правил вывода. Это доказывает, что, если целью вывода является достижение максимума некоторой оценки, а не сохранение значений истинности, как в логическом выводе, то мы получаем принципиально другой вывод.

Множество PR дает нам в определенном смысле "теорию предсказания" предметной области. Она понимается здесь не как формализм, достаточно формально объединяющий теорию вероятностей и логику первого порядка, как это делается в работах по вероятностной логике и "количественным дедукциям" [35-37], а ближе к логике, как множество утверждений с максимальными

значениями некоторых истинностных значений (в нашем случае максимальных оценок условных вероятностей).

В заключение отметим, что множество PR не является слишком большим. Понятие вероятностной закономерности было введено автором с целью разработки метода обнаружения закономерностей [6]. Автор был детально знаком с теорией функциональных систем еще до разработки этого метода в 1972 году. Поэтому метод [6], во время его создания, рассматривался одновременно как реализация формальной модели нейрона. Этот метод был реализован и успешно применялся для решения большого числа практических задач [6-8,10,15,16]. Опыт решения задач показал, что множество PR может быть эффективно найдено даже на малых ЭВМ.

3. Критика гипотезы суммации возбуждений на единичном нейроне.

Новая формальная модель нейрона

Прежде чем определять новую формальную модель нейрона, покажем что существующая формальная модель не имеет под собой никаких оснований. Господствующая уже более 30 лет в Neuroscience гипотеза суммации возбуждений на уровне нейрона — это еще одно научное заблуждение. Эта гипотеза была подвергнута критике П.К.Анохиным еще в 1974 г. [4]. Работа была переведена на английский язык, но в Neuroscience до сих пор придерживаются этой гипотезы. Полнейшая ее абсурдность следует из самой работы [4]. Ниже мы только кратко приведем вывод, сделанный в этой работе.

3.1. Критика гипотезы суммации возбуждений на уровне нейрона.

"Следовательно, теория электрической суммации... признает наличие:

а) возможности распространения отрицательных и положительных потенциалов по мембранам дендрита и тела нервной клетки;

б) возможности их алгебраических суммационных объединений при встрече на поверхности нейрона;

в) возможности адекватного воздействия этой суммы мембранных изменений на генераторный пункт нейрона.

Благодаря огромному авторитету упомянутых выше исследователей теория "электрической суммации", призванная объяснить интегративную деятельность нейрона, почти безоговорочно принята подавляющим большинством нейрофизиологов, хотя вообще к этому не было никаких оснований, поскольку она никогда не обсуждалась и не аргументировалась достаточно серьезным образом [4].

П.К.Анохин выясняет причину возникновения этой "гипотезы".

"...Произошел тот незаметный перекос выработанной ранее традиционной логики исследовательского процесса на проводящих образованиях (нервных волокнах — Е.В.) к исследованию синапсов и самой нервной клетки. Кодовое выражение "проведение возбуждения через синапс" лучше всего характеризует эту ошибку сделанного обобщения. Выражаясь более точно, можно сказать, что примат мембранных процессов, справедливо принятый нейрофизиологами безоговорочно для проводящих структур автоматически был перенесен и в качестве примата (!) на синапсы, на дендриты и на нервные клетки... Так возник первый "парадокс", определивший всю дальнейшую логику исследований по нейрофизиологии: синапс, дендриты и нервная система были приняты как часть системы, проводящей (!) нервный импульс по мембране нервной клетки от синапса к аксонному толстику, т.е. к выводу на аксон" [4].

Что позитивного, кроме критики, утверждается в теории функциональных систем по поводу нейронной активности? К сожалению, немного — только общее утверждение о системоспецифичности нейронов: "В разнообразных видах поведения, регистрируемого с помощью различных отметок и видеозаписи, мы исследовали активность нейронов моторной, зрительной, парietoальной и лимбической области коры, гиппокампа, обонятельной луковицы и ретикулярной формации мозга. Эти исследования показали... что в стереотипном поведении многие нейроны различных областей мозга являются системоспецифичными, т.е. активируются и тормозятся при реализации тех или иных функциональных систем" [26]. В теории функциональных систем дается также абстрактное утверждение об уменьшении числа степеней

свободы нейрнов, в процессе работы функциональных систем. Таким образом, можно достаточно смело предполагать, что обоснованной формальной модели нейрона в настоящее время не существует.

3.2. Физиологическая интерпретация принципа предсказания. Напомним, что принцип предсказания после формального анализа в разд.2 был конкретизирован как принцип: "мозг должен уметь обнаруживать все вероятностные закономерности". Мы исходили из предположения о том, что вся воспринимаемая мозгом информация и поступающая на его вход афферентация может быть представлена некоторым множеством одноместных предикатов. Обоснуем это предположение.

Под информацией, поступающей на "вход" мозга, мы будем понимать всю воспринимаемую мозгом афферентацию: мотивационную, обстановочную, пусковую, обратную, санкционирующую афферентацию, афферентацию об осуществленных действиях, поступающую по коллатерали на "вход", и т.д. Любая афферентация, поступающая на вход по некоторому аксону, имеет два состояния — возбуждение или отсутствие возбуждения (существуют и другие параметры возбуждения, такие как сила возбуждения — число импульсов, частота, связанная с вероятностью сигнала, пачкообразность, связанная с мотивацией, и, возможно, еще некоторые другие, но мы будем учитывать (пока) только наличие возбуждения и его вероятность (частоту импульсов)). Поэтому определим поступающую на "вход" мозга информацию одноместными предикатами, которые фиксируют бинарное свойство возбуждения либо не возбуждения некоторого аксона. Возбуждение нейрона и передачу этого возбуждения на его аксон также определим одноместным предикатом, истинность которого будет означать возбуждение нейрона и передачу этого возбуждения на выход нейрона — на его аксон. Из экологической теории восприятия Дж.Гибсона следует, что под информацией может пониматься любая характеристика энергетического потока света, звука и т.д., поступающая на вход мозга. Признаки, свойства, понятия и пр. — вторичны по отношению к этой информации и мы этими терминами пользоваться не будем. Поэтому, в дальнейшем мы будем предполагать, что вся афферентная информация зада-

ется некоторым множеством одноместных предикатов, значения которых соответствуют некоторой, поступающей на вход мозга, информации.

Нейрон определим как преобразование $\langle P_1, \dots, P_k \rangle \Rightarrow P_0$ значений предикатов P_1, \dots, P_k , обозначающих все входные возбуждения (как правило несколько тысяч), приходящих по аксонам на вход (синапсы) нейрона, в значение предиката P_0 , обозначающего выход (аксон) нейрона. Известно, что каждый нейрон имеет рецептивное поле, стимуляция которого возбуждает его безусловно. Первоначальной (до всякого обучения) семантикой предиката P_0 можно считать информацию, извлекаемую им из этого рецептивного поля. Но в процессе обучения эта информация меняется. Ей становится гораздо более богатый класс стимуляций в том числе условных, а не только безусловных³.

Напомним о системоспецифичности нейронов — нейрон может вести себя совершенно по-разному, участвуя в работе различных функциональных систем (что приводит в недоумение нейрофизиологов, так как в этом случае отдельно взятый нейрон не имеет фиксированной семантики). Как формально можно разделить эти случаи? Так как мотивации, санкционирующие афферентации от достигнутых результатов (в том числе определенного качества), и эмоции имеют генерализованное воздействие на нейроны коры головного мозга, то мы можем полагать, что среди всех входных возбуждений P_1, \dots, P_k каждого нейрона есть все мотивационные, санкционирующие и эмоциональные возбуждения. Мы всегда будем предполагать, что ка-

³ Может показаться, что данное определение функции нейрона слишком упрощено и не учитывает такой важной функции возбуждения, как возбуждение тормозных синапсов, оказывающих тормозное действие на нейрон. Но известно, что аксон, невясь, передает свое возбуждение на один и тот же нейрон через множество синапсов как возбуждающих, так и тормозных. Поэтому каждое возбуждение, передаваемое нейрону, передается как через возбуждающих так и через тормозные синапсы. Тормозные синапсы нужны для того, чтобы затормозить нейрон и прекратить его активность. Эта функция, как мы увидим в дальнейшем, нужна для "вытормаживания" альтернативных образов восприятия, действий, стимулов и т.д., которые в соответствии с обнаруживаемыми "тормозными закономерностями", тормозящими нейрон, не должны быть у воспринимаемых объектов. Иными словами, они нужны при анализе конкуренции целостных "схем", образов, планов действий и т.д. Для анализа того, как возбуждение передается от одного нейрона к другим, учет тормозных синапсов не обязателен. В дальнейших работах тормозные синапсы будут включены в виде своеобразного отрицания.

ждый нейрон в некоторый момент времени работает в рамках только одной функциональной системы и, значит, активной для него является только одна тройка $\langle M, P, \Theta \rangle$ мотивации M , результата P и эмоции Θ , сочетающихся в этот момент времени с его собственным возбуждением. Поэтому вместо преобразования $\langle P_1, \dots, P_k \rangle \Rightarrow P_0$ мы всегда будем рассматривать преобразование $\langle \langle M, P, \Theta \rangle, M, P_1, \dots, P_k \rangle \Rightarrow P_0$. Мотивация M добавлена в перечень входных стимулов, так как помимо активирующего воздействия она также может быть условным стимулом и участвовать в выработке вероятностных закономерностей, предсказывающих достижение поставленной ею же целей. Конечно, среди всех возбуждений P_1, \dots, P_k есть множество возбуждений, которые могут быть активированы только при включении данного нейрона в работу других функциональных систем, но эти возбуждения будут автоматически проигнорированы нейроном, так как они не активны при работе функциональной системы, определяемой тройкой $\langle M, P, \Theta \rangle$ (вероятностные закономерности на неактивных возбуждениях не вырабатываются). Другие мотивации и эмоции (определяющие другие функциональные системы), также время от времени будут передавать свои возбуждения на вход данного нейрона, что может привести к выработке закономерностей, включающих данный нейрон в работу других функциональных систем. Но поскольку функциональные системы не могут выполняться одновременно, если только они не включены в иерархию одновременно работающих функциональных систем, то отдельный нейрон, при достижении некоторой цели, всегда работает в рамках только одной функциональной системы. Поэтому преобразование $\langle \langle M, P, \Theta \rangle, M, P_1, \dots, P_k \rangle \Rightarrow P_0$ само автоматически выделит среди P_1, \dots, P_k те возбуждения, которые позволят с максимальной вероятностью предсказывать и тем самым возбуждать нейрон P_0 в рамках вполне определенной функциональной системы, определяемой тройкой $\langle M, P, \Theta \rangle$.

Для рассмотрения оценок условных вероятностей предсказания, необходимо определить вероятность. Нам достаточно определить вероятность событий, фиксируемых нейронами, участвующими в работе некоторой функциональной системы. Событием $P_1 \& \dots \& P_m$, где $P_1, \dots, P_m \subseteq \{P_1, \dots, P_k\}$ в ней-

роне $\langle \langle M, P, \Theta \rangle, M, P_1, \dots, P_k \rangle \Rightarrow P_0$ будем называть одновременное возбуждение входов P_{i1}, \dots, P_{im} этого нейрона непосредственно перед действием подкрепляющего возбуждения, т.е. тройки $\langle M, P, \Theta \rangle$. Частоту $h(P_{i1} \& \dots \& P_{im})$ события $P_{i1} \& \dots \& P_{im}$, определим как $h = \frac{n}{N}$, где N — общее число подкреплений нейрона тройкой $\langle M, P, \Theta \rangle$, а n — число случаев подкрепления, когда были одновременно возбуждены все предикаты P_{i1}, \dots, P_{im} . Под оценкой условной вероятности $P(P_0/P_{i1}, \dots, P_{im})$ возбуждения нейрона P_0 при условной возбуждения его входов P_{i1}, \dots, P_{im} будем понимать условную частоту $h(P_0/P_{i1}, \dots, P_{im}) = h(P_0 \& P_{i1} \& \dots \& P_{im})/h(P_{i1} \& \dots \& P_{im})$. Примем интерпретацию вероятности введенную К. Поппером, как предрасположенность с определенной вероятностью к появлению некоторого события. Будем считать, что при рассмотрении работы некоторого нейрона $\langle \langle M, P, \Theta \rangle, M, P_1, \dots, P_k \rangle \Rightarrow P_0$ в некоторой функциональной системе у нас определены вероятности всех событий.

3.3. Новая формальная модель нейрона.

ГИПОТЕЗА. *Функция нейрона состоит в семантическом вероятностном выводе всех вероятностных закономерностей между его входом и выходом для всех функциональных систем, в которые он включен. Каждый нейрон $\langle \langle M, P, \Theta \rangle, M, P_1, \dots, P_k \rangle \Rightarrow P_0$ внутри себя для своего выхода P_0 строит "утраченный" граф для каждой функциональной системы, определяемой некоторой мотивацией M , эмоцией Θ и результатом P .*

У каждого нейрона есть рецептивное поле, стимуляция которого всегда безусловно возбуждает его выход P_0 . Вероятностные закономерности обнаруживают вероятностные закономерности между входными возбуждениями нейрона, приходящими из разных отделов мозга на его синапсы, и его выходным возбуждением. Нейрон реагирует (возбуждается) на те и только те возбуждения входов, которые являются либо возбуждениями от рецептивного поля, либо условиями хотя бы одной из выработанных им вероятностных закономерностей с достаточным для его возбуждения уровнем оценки условной вероятности. Частота его возбуждения и быстрота возбуждения пропорциональны

максимальной величине условной вероятности всех сработавших закономерностей.

Нейроны в разных состояниях возбудимости коры (бодрствование, мотивация, эмоция, ориентировочно-исследовательская реакция, сон и т.д.) имеют разный порог срабатывания. Под **порогом срабатывания нейрона** будем понимать то минимальное значение оценки условной вероятности закономерности, которое в состоянии возбудить нейрон. Из описания эмоций и ориентировочно-исследовательской реакции следует, что они способны изменять порог срабатывания нейрона.

Известно, что в процессе выработки условных связей, а также при замыкании условных связей на уровне отдельного нейрона, скорость проведения импульса от условного раздражителя(лей) к аксону нейрона, т.е. скорость ответа нейрона на условный сигнал, тем выше, чем выше оценка условной вероятности достижимости этого (этапного) результата. Это показывает, что мозг интересуется прежде всего высоковероятные прогнозы и нейроны срабатывают прежде всего на самые сильные закономерности с максимальными оценками условных вероятностей.

4. Формальная модель работы мозга, вытекающая из принципа предсказания.

Объяснение теории функциональных систем

4.1. Формальная модель работы мозга, вытекающая из принципа предсказания. В силу сформулированной выше гипотезы, нейроны обнаруживают все вероятностные закономерности между его входом и выходом для различных функциональных систем, в которые он включен. Для выполнения принципа предсказания надо уметь обнаруживать все множество вероятностных закономерностей *РР*. Для этого необходимо, чтобы нейроны в мозге были связаны так, чтобы на их входы могла попасть любая из входных афферентаций мозга и их выход мог достигнуть любого эффекторного органа. Именно это и осуществляется **решеточным принципом межнейронных связей** [20]. "Мы считаем, что в самом фундаменте нейронной организации заложен биологически обусловленный принцип универсальной взаимосвязи всех воспринимающих раздражения элементов — рецепторов —

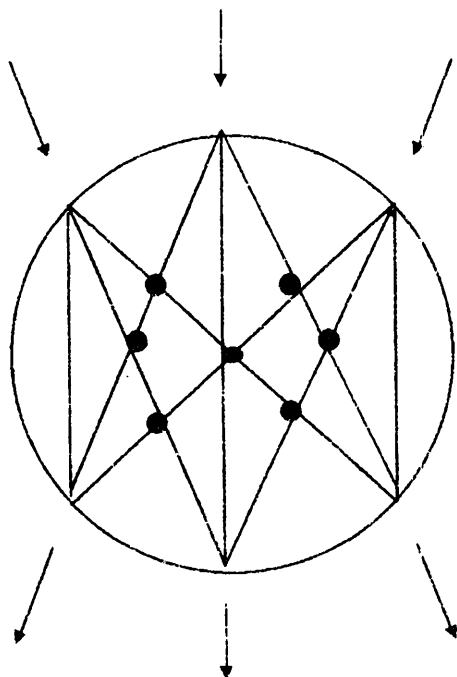


Рис. 2

со всеми элементами, реализующими ответные реакции на раздражения, — эффекторами, которыми обладает организм. Любой рецептор или комбинация рецепторов, могут быть связаны с любым эффектором, или комбинацией эффекторов. Анатомически данный принцип выявляется в виде схемы всеобщего перекреста ("решетки") нервных путей, соединяющих отдельные рецепторные точки тела, или их группы, с эффекторными" [20, с.101]. Рис. 2, приведенный в [20], иллюстрирует эту "решетку". Жирными точками обозначены нейроны, стоящие в узлах решетки. Нейроны не просто стоят в местах схождения афферентаций, но и возникают в таких местах: "Как видно на приведенной схеме ... **нейроны возникают** и структурно закрепляются именно в пунктах взаимодействия различных по своему

происхождению и назначению нервных импульсов. Таким образом, нейрон с самого начала его появления в эволюции живых организмов предстает перед нами как аппарат схождения (конвергенции) и расхождения (дивергенции) переключаемых в нем импульсов [20, с.102].

В дополнение к "переключающей" функции нейронов надо еще добавить, что нейроны в каждом "узле решетки" получают на вход не только возбуждения от нейронов предыдущего слоя, но и от всех предыдущих слоев и посылают свое возбуждение всем последующим слоям. Кора головного мозга достаточно тонка и возбуждения поступающие в нее или возникающие в ней в вертикальном направлении (перпендикулярно ее поверхности) пронизывают почти всю кору (в отличие от горизонтального направления). Таким образом, мозг устроен в достаточно точном соответствии с необходимостью иметь максимально точные предсказания, которые можно получить обнаружением всех вероятностных закономерностей *РР*. Единственное ограничение, возникающее при обнаружении вероятностных закономерностей нейронами, состоит в том, что подкрепление нейронов осуществляется только в рамках некоторой функциональной системы, т.е. только тогда, когда достигается некоторая цель.

Определим понятие функциональной системы в терминах вероятностных закономерностей. Вспомним, что функциональные системы формируются для выполнения некоторых функций организма и достижения соответствующих результатов. "#Состав функциональной системы не может быть определен каким-либо анатомическим принципом. Наоборот, самые разнообразные "анатомические системы" могут принимать участие и объединяться на базе одновременного возбуждения при выполнении той или иной функции организма#" [24, с.19].

Используя формальную модель нейрона, можно объяснить, как происходит формирование функциональной системы на нейрофизиологическом уровне. Пусть тройка $\langle M, P, \Theta \rangle$ ставит цель по выполнению некоторой функции организма. Если функциональная система не определена генетически, то на начальном этапе формирования функциональной системы у нас нет высоковероятного прогноза достижения цели и, следовательно,

возникает **ориентировочно-исследовательская реакция** для обучения достижению данной цели, которая:

- во-первых, стремится к тому, что бы все **окружающие организм раздражители были известны**. "В новой неизвестной обстановке ... поведение строится с использованием выраженной ориентировочно-исследовательской деятельности. На основе имеющейся потребности животные активно исследуют все ранее неизвестные раздражители окружающей среды ..." [24, с.124];

- во-вторых, все обследованные раздражители она **"связывает"** по типу условного рефлекса с конечным результатом;

- в-третьих, она генерализованно **поднимает и выравнивает активность нейронов** коры головного мозга, что делает возможным возникновение условных связей между отдаленными нейронами коры: "ориентировочно-исследовательская реакция ... всегда ведет к десинхронизации электрической активности коры ... часто выражающейся на записи почти прямой линией ... Эта десинхронизация является общепризнанным результатом активности ретикулярной формации ствола мозга ... является выражением энергетического влияния на кору больших полушарий" [5, с.346]; "... можно сказать, что без этого активирующего действия со стороны ретикулярной формации отдельные раздражения, приходящие в кору, были бы в значительной степени изолированными и не могли бы вступить между собой в непосредственную тесную связь так легко, как они вступают при повышении тонуса коры через подкорковое возбуждение ориентировочно-исследовательской реакции." [5, с.351].

Нетрудно видеть, что все эти функции ориентировочно-исследовательской реакции также направлены на то, чтобы обнаружить максимальное число вероятностных закономерностей *РР* и сформировать такие функциональные системы, которые бы включали максимальные возможности предсказания результата, предоставляемые схемой соединения нейронов на рис.2. Действительно, добиваясь чтобы все раздражители были известны, она максимально увеличивает "вход" мозга (см. рис.2); поднимая и выравнивая активность нейронов коры, она обеспечивает равномерное увеличение числа активных нейронов, "срабатывающих" по недостаточно сильным вероятностным закономерностям, что

еще больше увеличивает объем доступной информации и возможность ее передачи из одних отделов мозга в другие; и, наконец, "связывает" условными связями всю эту информацию с конечным результатом путем обнаружения вероятностных закономерностей. Облегчается также выработка условных связей, так как даже при небольшом числе сочетаний условного сигнала с безусловным, когда вероятностная закономерность еще недостаточно сильна, мы получаем предсказание безусловного сигнала при срабатывании соответствующего нейрона по этой слабой закономерности.

При таком действии практически любая вероятностная закономерность из PR , полезная для предсказания какого-либо (этапного) результата P_0 какой-либо из потребностей $\langle M, P, \Theta \rangle$, может быть обнаружена схемой нейронов рис.2, и включена в функциональную систему (если только для этой вероятностной закономерности $(M \& P_{i1} \& \dots \& P_{ik} \Rightarrow P_0) \in PR$ существует нейрон $\langle \langle M, P, \Theta \rangle, M, P_1, \dots, P_k \rangle \Rightarrow P_0$, такой что $\{P_{i1}, \dots, P_{ik}\} \subseteq \{P_1, \dots, P_k\}$). Теоретически в нашей модели мы будем считать, что такой нейрон всегда существует. Для обнаружения вероятностных закономерностей $(M \& P_{i1} \& \dots \& P_{ik} \Rightarrow P_0) \in PR$ некоторой функциональной системы $\langle M, P, \Theta \rangle$ достаточно мотивации M и того факта, что, если при условии $M \& P_{i1} \& \dots \& P_{ik}$ сработал нейрон P_0 , то это приблизит нас к достижению конечного результата P_0 , вызывающего положительную эмоцию Θ . Каждая вероятностная закономерность из PR подкрепляется единственной тройкой $\langle M, P, \Theta \rangle$. Множество всех вероятностных закономерностей из PR и обнаруживающих их нейронов, подкрепляемых некоторой тройкой $\langle M, P, \Theta \rangle$, и есть та функциональная система, определяемая $\langle M, P, \Theta \rangle$. Обозначим через $PR(M, P, \Theta)$ все те вероятностные закономерности (и содержащие их нейроны), которые соответствуют этой функциональной системе. Пусть $\{\langle M, P, \Theta \rangle\}$ — множество всех потребностей. Множество $\{\langle M, P, \Theta \rangle\}$ разбивает все множество вероятностных закономерностей PR на непересекающиеся группы $PR(M, P, \Theta)$, так как каждая вероятностная закономерность закрепляется только одной потребностью $\langle M, P, \Theta \rangle$. Поэтому $PR = \cup \{PR(M, P, \Theta)\}$. Однако, вырабатывающие их нейроны

могут принадлежать разным группам, так как один и тот же нейрон может участвовать в работе нескольких функциональных систем. Множество $\{PR(M, P, \Theta)\}$ и есть все множество функциональных систем, обнаруживаемых мозгом и та математическая модель работы мозга, которая вытекает из принципа предсказания.

Это определение дает нам функциональные системы в полном объеме со всеми промежуточными результатами. Рассмотрим, как развиваются функциональные системы. Это позволит нам дать подробную структуру данной формальной модели работы мозга и каждой функциональной системы в отдельности.

4.2. Структура формальной модели работы мозга $\{PR(M, P, \Theta)\}$. Объясним формирование и совершенствование действий как оно описано в теории функциональных систем и в [13]. Используя формальную модель работы мозга $\{PR(M, P, \Theta)\}$ и формальную модель нейрона, сделаем это на нейронном уровне, что раскроет нам структуру формальной модели. Это даст нам возможность в следующем разделе объяснить в целом организацию целенаправленного поведения в теории функциональных систем на нейронном уровне. Объясним также те свойства акцептора результатов действия, которые остались необъясненными в работе [13] и которые, по существу, не могут быть объяснены на основе принципа целеполагания. Это "предвосхищение" в акцепторе результатов действия и его автоматическое обогащение и совершенствование.

Приведем высказывания из теории функциональных систем о тех свойствах акцептора результатов действия, которые мы хотим объяснить (они выделены жирным шрифтом) и которые не были объяснены в [13]: "Формирование "цели" в центральной архитектуре поведенческого акта связано с построением следующей стадии системной организации поведенческого акта аппарата **предвидения** будущего результата (всей последовательности и иерархии результатов), удовлетворяющего доминирующую потребность, — аппарата акцептора результатов действия" [24, с.81]. "Он **"предвосхищает"** афферентные свойства того результата, который должен быть получен в соответствии с принятым решением, и, следовательно, **опережает ход событий в**

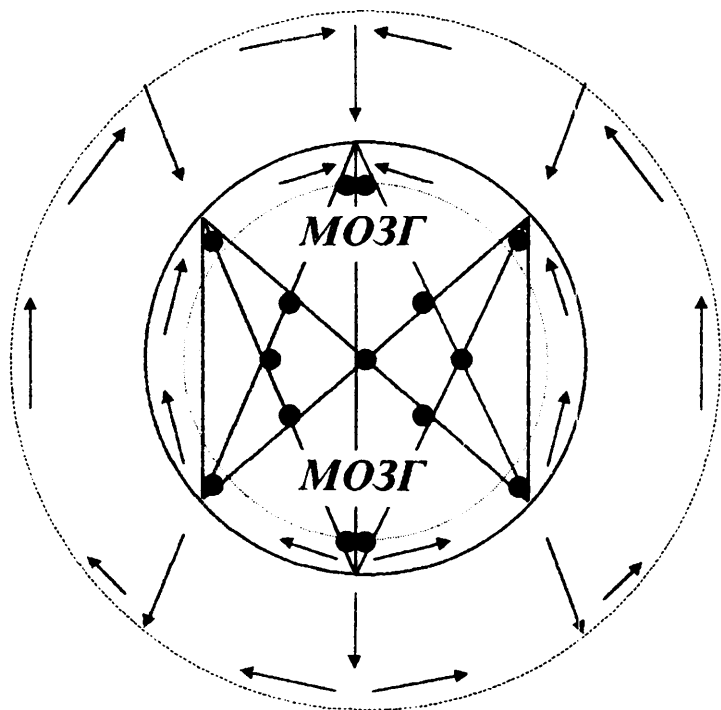
отношениях между организмом и внешним миром ... По сути он должен сформировать какие-то тонкие нервные механизмы, которые позволяют не только прогнозировать признаки необходимого в данный момент результата, но и **сличать их с параметрами реального результата**" [2, с.95].

Как уже объяснялось в [13], под "предвидением" понимается предвосхищение, в соответствии с принципом опережающего отражения действительности [3], всей последовательности и иерархии результатов необходимых для достижения конечной цели. Более конкретно предвосхищение не определяется. Как показано в работах школы П.К.Анохина, нейрофизиологически предвосхищение реализуется специальными коллатеральными ответвлениями от произведенных действий и поступающих на "вход" мозга, конвергируя с афферентацией от аходных стимулов: "Речь идет о коллатеральных ответвлениях пирамидного тракта, отводящих ко многим межучточным нейронам "копии" тех эфферентных посылок, которые выходят на пирамидный тракт ... Таким образом, момент принятия решений и начала выхода рабочих эфферентных возбуждений (начало действий — Е.В.) из мозга сопровождается формированием обширного комплекса возбуждений, состоящего из афферентных признаков будущего результата и из коллатеральной "копии" эфферентных возбуждений, выпедших на периферию по пирамидному тракту к рабочим органам." [2, с.97]. Таким образом, рис.2 преобразуется в более сложную схему — рис. 3.

В рис 3. добавился внутренний контур обратных связей, обозначенный малой пунктирной линией, посылающий по коллатералям возбуждения с "выхода" мозга на его "вход", а также внешний контур обратных связей от результатов осуществленных действий во внешней среде, обозначенный большой пунктирной линией. Добавились и нейроны вдоль внутреннего контура, по возбуждениям которых осуществляется "предвосхищение" результатов действий экцептором результатов действий.

Рассмотрим выработку классического условного рефлекса. Пусть α — выбранный нами условный сигнал, например, звонок и

Внешний Мир



Внешний Мир

Рис. 3

b , c и d — стук кормушки, вид хлеба и действие хлеба на вкусовые рецепторы языка (безусловный раздражитель).

Фактически все пусковые стимулы являются результатами действий — действием является ожидание пускового стимула и настройка сенсорного аппарата (предвосхищение в терминологии У.Найсера) на восприятие данного стимула, а результатом действия и обратной афферентацией является сам пусковой стимул. В соответствии с концепцией Схем восприятия У.Найсера (см. разд. 5 и [13,19]) без такой настройки и предвосхищения мы просто не сможем воспринять (и не увидим и не услышим) соответствующий пусковой стимул. Например, чтобы воспринять звонок a мы должны осуществить перцептивное действие da по настройке на его восприятие. Поэтому мы далее будем рассматривать пусковые стимулы как этапные результаты.

Верно и обратное — обратная афферентация об успешном завершении некоторого этапного действия и получение этапного результата является пусковой для начала следующего действия и продолжения достижения цели, так как мы не можем продолжить следующее действие, пока не совершено предыдущее. Например, после того как прозвучал звонок a , животное начинает следующее действие db — ожидание стука кормушки. Достижение результата b — стука кормушки, будет пусковым для начала следующего этапа действий — подхода к кормушке и восприятие хлеба dc . Получение результата c — вида хлеба, "запустит" последнее действие dd — поедание хлеба с целью получения конечного результата d — ощущение хлеба рецепторами языка.

"Запуск" действия db может быть осуществлен нейроном db при действии на него пускового стимула a по закономерности $a \Rightarrow db$. Эта закономерность будет закреплена в том и только в том случае, если действие db приведет к такой обратной афферентации $Res(db)$ от результатов этого действия, которая вызовет результат b , для которого закономерность $b \Rightarrow d$, обнаруженная нейроном d , будет иметь большую оценку условной вероятности, чем закономерность $a \Rightarrow d$ от предыдущего этапного результата. В этом случае, в соответствии с информационной теорией эмоций, возникающая положительная эмоция закрепит "запуск" действия $a \Rightarrow db$, активацию обратной афферентацией $Res(db)$

результата b по закономерности $\text{Res}(db) \Rightarrow b$, а также закономерность $b \Rightarrow d$. После получения условного стимула a и запуска действия da , следующим пусковым стимулом станет уже стимул b , запускающий действие dc , а этапным результатом будет результат c . Этот следующий этап действий приведет к выработке аналогичных закономерностей $b \Rightarrow dc$, $\text{Res}(dc) \Rightarrow c$ и $c \Rightarrow d$ и т.д. (см. (1)). "Запуск" действия da осуществляется самой мотивацией M , поскольку мотивация является не только активирующим возбуждением, но и стимулом. "Запуск" $M \Rightarrow da$ закрепится по той же причине, что и другие запуски, так как приведет к этапному результату a , предсказываемому по закономерности $a \Rightarrow d$ достижимость конечного результата c большей вероятностью, чем по закономерности $M \Rightarrow d$.

Полученные после рассмотрения всех этапов действия закономерности $a \Rightarrow d$, $b \Rightarrow d$ и $c \Rightarrow d$ будут иметь последовательно возрастающие оценки условных вероятностей. Таким образом, на нейронном уровне мы вместо последовательности $a \Rightarrow b \Rightarrow c \Rightarrow d$ будем иметь следующую последовательность (графическое представление этой последовательности приведено на рис. 4):

$$\begin{aligned} M &\Rightarrow da \rightarrow \text{Res}(da) \Rightarrow a \Rightarrow db \rightarrow \text{Res}(db) \Rightarrow b \Rightarrow dc \rightarrow \\ &\rightarrow \text{Res}(dc) \Rightarrow c \Rightarrow dd \rightarrow \text{Res}(dd) \Rightarrow d \end{aligned} \quad (1)$$

где $a \Rightarrow, b \Rightarrow, c \Rightarrow$ — условные связи "запуска" очередного этапа действий, выработанные нейронами da, db, dc . Стрелка \rightarrow после действий da, db, dc, dd означает совершение действий во внешней среде. $\text{Res}(da), \text{Res}(db), \text{Res}(dc), \text{Res}(dd)$ — обратные афферентации, поступающие на входы нейронов a, b, c, d из внешней (внутренней) среды и сигнализирующие о достигнутом результате действий.

Каждое действие da, db, dc, dd в соответствии с рис 3. по коллатералям передает свое возбуждение на "вход" мозга и, следовательно, можно считать, что возбуждение от моторного нейрона da одновременно с активацией самого действия передает свое возбуждение на вход нейрона a , действие db — на вход нейрона b , действие dc — на вход нейрона c и действие dd — на вход нейрона d . Значит, на входы нейронов результатов a, b, c, d поступит не только обратная афферентация $\text{Res}(da), \text{Res}(db), \text{Res}(dc), \text{Res}(dd)$ от ре-

результатов осуществленных действий, поступающая по внешнему контуру, но и возбуждения от самих действий da, db, dc, dd , поступающие по внутреннему контуру мозга. Поэтому схема условного рефлекса (1) преобразуется в схему, приведенную на рис. 4.

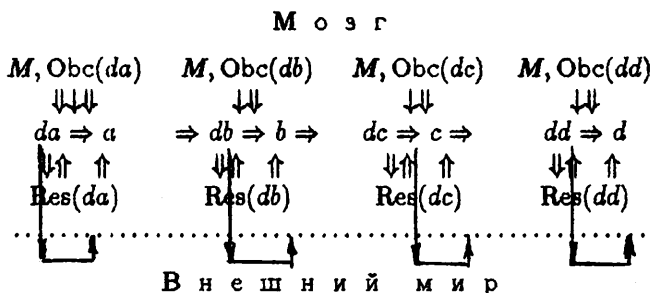


Рис. 4

Здесь M — мотивация, "извлекающая из памяти" активацией \downarrow (см. подробнее далее) всю цепочку действий (план действий) по достижению цели. Обстановочная афферентация $Obc(da), Obc(db), Obc(dc), Obc(dd)$, представляет собой множество всех необходимых условий успешного совершения каждого отдельного действия и достижения в итоге конечного результата в данной обстановке. Никакого другого дополнительного смысла обстановочная афферентация не имеет. Обстановочная афферентация автоматически включится в закономерности $M \& Obc(da) \Rightarrow da, a \& Obc(db) \Rightarrow db, b \& Obc(dc) \Rightarrow dc, c \& Obc(dd) \Rightarrow dd$ как "существенная" информация (повышающая условную вероятность прогноза (см. рис.1)) о необходимых условиях возможности "запуска" очередного действия и получения соответствующего (этапного) результата.

Как видно из рис.4, достижение цели представляет собой последовательность "блоков" (см. отдельный блок на рис.6), каждый из которых начинается и заканчивается двумя последовательными этапными результатами. Рассмотрим сначала процесс обучения и совершенствования действий внутри одного "блока". В следующих разделах мы рассмотрим, как может быть существенно изменен весь план действий (рис.4).

Представим схему на рис.4 через закономерности, возбуждающие соответствующие нейроны. Это следующие закономерности, вырабатываемые схемой (рис.4) в процессе обучения (рис.5).

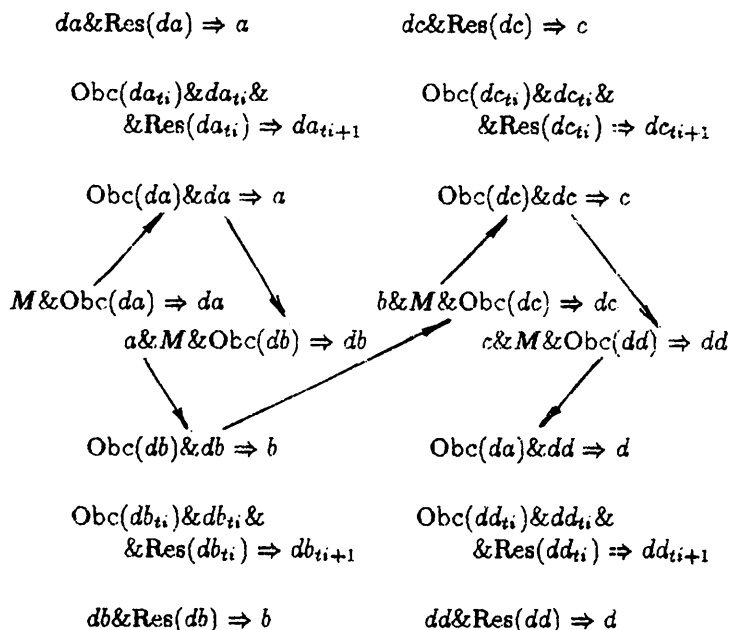


Рис. 5

Далее в этом и следующем разделе все эти закономерности будут объяснены. Определим сначала, что такое, например, действие dc . Для этого заметим, что вся совокупность обратных афферентаций от результатов действия dc , которую обозначим через $\text{GenRes}(dc)$, поступает на "вход" мозга непрерывно во времени, начиная с момента начала действия и кончая достижением отдельного нейрона или группы нейронов также непрерывно во времени передает свои возбуждения эффекторным механизмам (мышцам, органам и т.д.) и одновременно по коллатералиям на "вход" мозга. Рассмотрим подробнее взаимодействие обратной афферентации $\text{GenRes}(dc)$ и действия dc в процессе обучения.

Что будет первым во времени стимулом из $\text{GenRes}(dc)$, контролирующим правильность осуществления действия dc ? Первым стимулом будет сигнализация о таком первом результате совершенного действия, который не всегда достигается при совершении этого действия, т.е. это **первый момент**, в котором действие может отклониться от заданной цели и, в итоге, не достичь результата s . Если обратная афферентация подтвердит правильность совершения действия, то действие может быть продолжено. Следующей обратной афферентацией из $\text{GenRes}(dc)$, контролирующей правильность совершения действия, будет обратная афферентация от такого следующего момента действия, когда оно снова, в принципе, может отклониться от заданной цели. Зафиксируем множество моментов времени t_1, t_2, \dots, t_k , в которых действие $dc_{ti}, i = 1, \dots, k$, в принципе, может отклониться от цели и в которых получаемую обратную афферентацию $\text{Res}(dc_{ti})$ следует контролировать. Разобьем действие dc на участки $dc_{ti}, i = 1, \dots, k$. Первый участок действия запускается как мы знаем закономерностью $b \& \text{Obs}(dc) \Rightarrow dc_{t1}$. После получения обратной афферентации $\text{Res}(dc_{t1})$ об успешном завершении этого первого участка действия dc_{t1} , действие dc может быть продолжено. Продолжение действия "запускается" закономерностью $\text{Obs}(dc_{t1}) \& dc_{t1} \& \text{Res}(dc_{t1}) \Rightarrow dc_{t2}$. Эта закономерность будет обнаружена **автоматически**, так как все условия "существенны" (удаление какого-либо условия строго уменьшает условную вероятность правила) в ней для продолжения действия. Далее действие продолжается по рекуррентным закономерностям $\text{Obs}(dc_{ti}) \& dc_{ti} \& \text{Res}(dc_{ti}) \Rightarrow dc_{ti+1}, i = 1, \dots, k-1$, в которых действия dc_{ti} и dc_{ti+1} могут совпадать. Если для некоторых последовательных участков действия $dc_{ti}, \dots, dc_{ti+l}, i+l \leq k$, совершается одно и то же действие dc_t , то закономерность примет вид $\text{Obs}(dc_t) \& dc_t \& \text{Res}(dc_t) \Rightarrow dc_t$, т.е. действие dc_t запускает само себя, если только обстановочная и обратная афферентации способствуют продолжению действия. Если же действие на каком-то участке отклониться от цели или будет достигнут конец действия dc , то это сразу же отразится на обратной афферентации Res , которая залустит другую закономерность. Таким образом, обратная афферентация будет сигналом для перехода, либо к

компенсаторным действиям, либо к запуску нового участка действия. Закономерности последовательного совершения участков действия обозначены на рис.4 двумя рядом стоящими стрелками $\Downarrow \Uparrow$. На рис.5 эти закономерности представлены в явном виде.

Когда действие dc можно считать завершенным и что такое отдельное действие? Закономерностей $Obs(dc_{i1}) \& dc_{i1} \& Res(dc_{i1}) \Rightarrow dc_{i1+1}$ достаточно для перехода от одного участка действия к другому. Но когда требуется перейти от одного этапного действия к другому, то надо учесть всю совокупность полученной обратной афферентации и определить закончено ли этапное действие или нет, т.е. достигнут некоторый этапный результат или нет. В вероятностных терминах разделение действий da, db, dc, dd на этапы означает, что после каждого из них, в принципе, может совершаться множество других действий и поэтому предсказание, например, действия db , после осуществления действия dc в принципе невозможно. Действия da, db, dc, dd потому и разделены, что они не предсказывают друг друга. Как тогда может быть осуществлен переход от одного этапного действия к другому? Понятно, что обратной афферентации от последнего участка действия $Res(dc_{ik})$ не достаточно для определения завершенности действия dc . Для надежного предсказания завершенности действия в целом, необходимо знать, что все участки действия успешно пройдены, т.е. действие $dc = dc_{i1} \& dc_{i2} \& \dots \& dc_{ik}$ выполнено, и обратная афферентация $Res(dc) = Res(dc_{i1}) \& Res(dc_{i2}) \& \dots \& Res(dc_{ik})$ от всех моментов действий получена. Как может использоваться эта информация для перехода к следующему действию dd ?

Отметим следующий общий принцип организации предсказаний, осуществляемый мозгом: если невозможно осуществить предсказание на низком уровне (недалеко от "входа" мозга, где информация достаточно детальна и локальна), то предсказание осуществляется через более высокие слои мозга (расположенные ниже на рис. 3), отражающие интегральные и более инвариантные (см. разд.6) характеристики внешней среды. При этом заметим, что такая структура предсказаний определяется не строением мозга, а структурой предсказаний внеш-

ней среды, которую улавливает мозг. Рассмотрим на примере действия dc как это происходит. В соответствии с рис.3 "любой рецептор или комбинация рецепторов, могут быть связаны с любым эффектором или комбинацией эффекторов". Поэтому на месте любого "переключения", например, со "входа" $Obc(dc) \& dc \& Res(dc)$ на выходы dd и d (d — нейрон конечного результата) всегда существуют нейрон c , возбуждающийся безусловно от возбуждений $Obc(dc) \& dc \& Res(dc)$ и передающий это возбуждение на входы нейронов dd и d . Так как нейрон c возбуждается безусловно от возбуждений $Obc(dc) \& dc \& Res(dc)$, то он должен находиться в решетке как раз под всеми нейронами $Obc(dc) \& dc \& Res(dc)$ (на рис.3 ниже и как бы на месте схождения всех возбуждений от этих вышестоящих нейронов). Прежде всего заметим, что поскольку возбуждение $Obc(dc) \& dc \& Res(dc)$ нейрона c передается на вход нейрона d и сигнализирует об успешном завершении очередного этапа действий, то нейроном d в процессе обучения будет выработана закономерность $c \Rightarrow d$. Эта закономерность будет иметь большую оценку условной вероятности, чем закономерность $b \Rightarrow d$ от предыдущего этапа действий и, следовательно, возбуждение нейрона c будет вызывать положительные эмоции. Эти положительные эмоции закрепят весь "блок" закономерностей приведших к этому этапному результату и, в частности, закономерность $Obc(dc) \& dc \& Res(dc) \Rightarrow c$. Нейрон c сначала будет возбуждаться своим входом $Obc(dc) \& dc \& Res(dc)$ безусловно, но затем, в процессе выработки условной связи $c \Rightarrow d$ и появления положительных эмоций, нейрон c начнет приобретать свойства результата и обратная афферентация $Res(dc)$ начнет обогащаться, усиливая закономерность $Obc(dc) \& dc \& Res(dc) \Rightarrow c$, которая теперь уже будет "срабатывать" не просто безусловно, а еще и с вероятностью близкой к 1, что мы также будем считать безусловным "срабатыванием" нейрона. Закономерность $Obc(dc) \& dc \& Res(dc) \Rightarrow c$, таким образом, автоматически включает в себя все возбуждения, наиболее полно и точно характеризующие достижение этапного результата c и возможность перехода к следующему действию. Усилится не только закономерность $Obc(dc) \& dc \& Res(dc) \Rightarrow c$, но и все закономерности "блока" $Obc(dc) \& dc_i \& Res(dc_i) \Rightarrow dc_{i+1}$, $i = 1, \dots, k - 1$. Усиле-

ние этих закономерностей будет уточнять обратные афферентации $Res(dc_i)$, $i = 1, \dots, k-1$, контролирующие результаты всех участков действия. На самом деле, имеет место более сильное утверждение.

Мозг всегда стремится добиться полного контроля над внешним миром, исчерпывающе контролируя внутренним закономерным контуром работы мозга события внешнего контура. Когда закономерности $Obc(dc_i) \& dc_i \& Res(dc_i) \Rightarrow dc_{i+1}$, $i = 1, \dots, k-1$, после их усиления положительными эмоциями начнут с вероятностью близкой к 1 непрерывно во времени контролировать обратной и обстановочной афферентациями $Obc(dc_i)$, $Res(dc_i)$, $i = 1, \dots, k-1$, события внешней среды, внутренний контур мозга будет знать все, что ему необходимо (с точки зрения предсказания и достижения цели) о внешнем контуре, т.е. о внешнем мире. Именно за счет этого и создается то удивительное ощущение, что мы живем во внешнем мире, хотя есть специальные эксперименты с надеванием искажающих линз, показывающие, что это ощущение является результатом тренировки.

Разбиение действия на этапы в процессе обучения происходит постепенно и постоянно. Как уже говорилось, первоначальным этапом формирования функциональных систем, и в том числе этапных результатов, является метод "проб и ошибок" и исследовательская деятельность. Если в результате такой деятельности результат будет достигнут, то найденный способ действия закрепится в виде последовательности действий $Obc(dc_i) \& dc_i \& Res(dc_i) \Rightarrow dc_{i+1}$, $i = 1, \dots, k-1$, в которой не будет никаких этапов. Обстановочной $Obc(dc_i)$ и обратной $Res(dc_i)$ афферентациями всех частей действия будет вся обстановочная и обратная афферентации, которые были получены в соответствующие моменты времени. При повторении этого действия будет меняться обстановка и обратная афферентация от участков действия, поэтому в закономерности $Obc(dc_i) \& dc_i \& Res(dc_i) \Rightarrow dc_{i+1}$, $i = 1, \dots, k-1$, начнет входить более точная (инвариантная, см. разд.5) обстановочная и обратная афферентации. Выделение этапов действий и закономерностей этапов типа $Obc(dc) \& dc \& Res(dc) \Rightarrow c$, свидетель-

ствующих о завершенности этапа действия, возможно только тогда, когда в результате осуществления разнообразной деятельности, а не только в условиях, например, одного инструментального рефлекса, станет ясно, что за действием dc может следовать множество других действий и, значит, предсказание и активация следующего за dc действия по закономерностям типа $Obc(dc_{ik}) \& dc_{ik} \& Res(dc_{ik}) \Rightarrow dd_{i1}$, где k — последний участок действия dc , окажется уже просто невозможной по той простой причине, что не известно, какое должно быть дальше действие. Поэтому активация следующего действия будет возможна уже только через закономерности типа $Obc(dc) \& dc \& Res(dc) \Rightarrow c$. Понятно, что, если в процессе совершенствования действий в играх или в профессиональной деятельности выяснится, что и само действие dc есть комбинация нескольких более элементарных действий, которые также по-разному могут комбинироваться при достижении разных целей, то действие dc также автоматически разобьется на более мелкие этапы dc^1, \dots, dc^l . Так же, как и для действия dc , для этих этапов автоматически будут найдены закономерности результатов типа $Obc(dc^j) \& dc^j \& Res(dc^j) \Rightarrow c^j$, $j = 1, \dots, l$. Это объясняет, как автоматически формируются отдельные "блоки" действия (рис. 6).

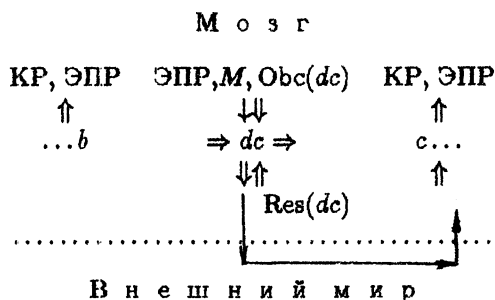


Рис. 6

На рис.6: КР — конечный результат, ЭПР — этапный промежуточный результат — действие более общего уровня (см.далее); $b \Rightarrow$ КР, $c \Rightarrow$ КР — закономерности, выработанные нейроном

конечного результата КР, например, нейроном d . Эти закономерности имеют возрастающие значения вероятности предсказания, вызывающие положительные эмоции и закрепляющие закономерности всего блока. Если действие dc , в процессе совершенствования действий, разобьется на последовательность действий dc^1, \dots, dc^l , то достижение действием dc своего результата c по закономерности $Obs(dc) \& dc \& Res(dc) \Rightarrow c$, $c \Rightarrow d$ сохранит свое значение в том и только в том случае, когда закономерность $c \Rightarrow d$ будет иметь большую оценку вероятности, чем закономерность $c^l \Rightarrow d$, "сработавшая" после достижения последнего этапного результата $Obs(dc) \& dc^l \& Res(dc^l) \Rightarrow c^l$. Это будет происходить в том случае, когда действие c имеет самостоятельное значение.

Рассмотрим, например, действие dc — бег. Бег, очевидно, является сложным движением, состоящим из серии более простых этапных действий. Все этапные действия бега связаны в определенную последовательность внутри действия dc . Когда "бег" будет завершен, то достижение результата c по закономерности $c \Rightarrow d$ закрепит этот этапный промежуточный результат, и, в том числе, всю последовательность более мелких этапных результатов dc^1, \dots, dc^l . Ясно, что закономерность $c \Rightarrow d$ будет иметь большую оценку вероятности, чем закономерность $c^l \Rightarrow d$, во-первых, потому, что действия dc^1, \dots, dc^l циклически повторяются внутри действия dc — бег, а во-вторых, потому, что для правильной оценки завершенности "бега" необходимо оценить правильность всей последовательности действий, т.е. оценить достижение результата c по закономерности $Obs(dc) \& dc \& Res(dc) \Rightarrow c$, а не по закономерности $Obs(dc^l) \& dc^l \& Res(dc^l) \Rightarrow c^l$. Поэтому для более мелких этапных результатов dc^1, \dots, dc^l , например, подъема ноги, толчка, прыжка и т.д. этапным результатом в "блоке" (рис.б), приводящим к достижению этапного промежуточного результата ЭПР всего блока, является не самый последний конечный результат d — КР, вызывающий санкционирующую афферентацию, а тот более "крупный" этапный промежуточный результат, в данном случае "бег", который "связывает" всю последовательность более мелких этапных результатов. Этапный промежуточный результат c так же, как и конечный результат d обладает санкционирующим действием, так как за-

закономерности $c \Rightarrow d$ будет вызывать положительные эмоции, закрепляющие закономерности $c^1 \Rightarrow c, \dots, c^l \Rightarrow c$. Но положительные эмоции могут возникать не только после завершения бега. Эмоции, как интегральная оценка успешности действий — приближения к цели (положительная эмоция) или удаления от цели (отрицательная эмоция), стремятся также непрерывно во времени контролировать достижение цели. Поскольку каждое из элементарных действий dc^1, \dots, dc^l , если оно хоть сколько-нибудь значимо приближает цель, например в случае, когда обстановочная афферентация $Obs(dc^i)$ действия dc^i связана с преодолением непростого препятствия (яма, камень, преграда и т.д.) и когда оценка вероятности достижения результата по закономерности $Obs(dc^i) \& dc^i \& Res(dc^i) \Rightarrow c^i$ для этого препятствия меньше единицы, тогда преодоление препятствия вызовет положительную эмоцию, закрепляющую нейроны, выполнившие действие dc^i , и нейрон c^i . Поэтому будут выработаны не только закономерности $c^1 \Rightarrow c, \dots, c^l \Rightarrow c$, предсказывающие со все большей вероятностью достижимость эталного промежуточного результата c , но и закономерности $c^1 \& dc \Rightarrow КР, \dots, c^l \& dc \Rightarrow КР$, предсказывающие увеличение вероятности достижения конечного результата КР, после осуществления более мелких этапных действий c^1, \dots, c^l , осуществляемых в контексте более крупного этапного промежуточного действия dc с результатом c . Поэтому в схеме, представленной на рис.6, предсказываемым конечным результатом является не только этапный промежуточный результат ЭПР, но и конечный результат КР.

Выполнение следующего действия dc^{i+1} не может быть запущено нейроном c^i , так как нейрон c^i не может знать и, следовательно, предсказать какой будет следующий участок действия. Такое предсказание возможно, только если знать, что все действия dc^1, \dots, dc^l выполняются в контексте некоторого более крупного действия dc — бег. Поэтому "запуск" действия dc^{i+1} должен быть осуществлен закономерностью $dc \& c^i \Rightarrow dc^{i+1}$, означающей, что в контексте действия c^i достижение результата для участка действия c^i предсказывает и возбуждает начало

следующего участка действия dc^{i+1} . Действие более общего уровня ЭПР на рис. 6 — это и есть в данном случае действие dc .

Мы описали, как **автоматически** строится иерархия действий в процессе обучения и какими закономерностями и возбуждениями эти действия выполняются. Но на самом верхнем уровне организации действий мы все равно не знаем, какими закономерностями должно осуществляться переключение с одного действия на другое, так как разные этапы действия не предсказывают друг друга. **Организация действий на самом верхнем уровне уже не может быть организована закономерностями**, так как зависит не от структуры предсказаний внешней среды, а от целей достигаемых организмом. Так как цель ставится мотивационным возбуждением [13], то она является сугубо внутренней постановкой для организма цели. Однако после постановки цели, оценка вероятности ее достижения может быть осуществлена по обнаруженным закономерностям, что и осуществляется переключающей функцией эмоций на стадии принятия решений. На самом верхнем уровне действия организуются на стадии принятия решений, где они представляют собой, как правило, линейную последовательность отдельных "блоков" действий. Так как в этой последовательности действий оценка вероятности предсказания конечного результата всегда строго возрастает, то **принятие решений представляет собой своеобразный семантический "блочный" вероятностный вывод наилучшего плана действия** (см. более подробно далее). В результате получается та последовательность и иерархия результатов, которая описана в теории функциональных систем. Заметим, что эту последовательность и иерархию результатов, которая автоматически уточняется и совершенствуется в процессе деятельности, мы вывели из анализа структуры предсказаний событий во внешней среде, которые улавливаются закономерностями из $\{PR(M, P, \Theta)\}$. Рис. 4-6, таким образом, дают нам структуру и процесс функционирования формальной модели работы мозга, основанной на принципе предсказания.

Объясним теперь как может совершенствоваться деятельность внутри отдельного "блока" действий. В процессе игр или профессиональной деятельности последовательность участков действий

и соответствующие обратные афферентации $\text{Obc}(dc_i) \& dc_i \& \text{Res}(dc_i) \Rightarrow dc_{i+1}$, $i = 1, \dots, k-1$, могут варьироваться. Если после таких вариаций результат c не будет достигнут, то возникнет ориентировочно-исследовательская реакция и отрицательные эмоции, которые понизят оценки вероятности всех "срабатывающих" закономерностей и в следующий раз эти закономерности вряд ли будут активизированы. Как известно, ориентировочно-исследовательская реакция возникает всякий раз, когда ожидаемый акцептором результатов действий результат не достигнут. Предположим, что в процессе игры найдены такие вариации dc' действия dc , которые по соответствующим закономерностям $\text{Obc}(dc'_i) \& dc'_i \& \text{Res}(dc'_i) \Rightarrow dc'_{i+1}$, $i = 1, \dots, k'-1$, будут приводить к достижению таких результатов c' , что после осуществления остальных действий, они также будут приводить к конечному результату. В этом случае эти вариации будут закреплены. Если после неоднократного применения вариаций dc' и получения конечного результата окажется, что после достижения результата c' конечный результат достигается с большей вероятностью по закономерности $c' \Rightarrow d$, чем после результата c по закономерности $c \Rightarrow d$, то все закономерности "блока", приводящие к результату c' станут иметь большую оценку условной вероятности. Так как закономерности, имеющие большую оценку условной вероятности, срабатывают быстрее, то запуск действия dc' будет срабатывать быстрее по времени, чем запуск действия dc . Активизировавшись, действие dc' вытормозит тормозными закономерностями все не совместимые с ним действия. Тормозные закономерности имеют точно такую же природу, что и возбуждающие, но для простоты мы их рассматривать не будем. Поэтому мозг автоматически переключится на запуск более эффективного действия dc' .

4.3. Объяснение целенаправленной деятельности в теории функциональных систем. Рассмотрим и объясним на основе рис. 4-6 последовательно все стадии организации целенаправленного поведения в соответствии с теорией функциональных систем и информационной теорией эмоций, а также некоторые из процитированных выше свойств акцептора результатов действия.

Афферентный синтез [13] осуществляется активацией \downarrow мотивацией M различных последовательностей действий da, db, dc, dd , извлекаемых мотивацией из памяти. Как видно из рис. 4,5 при этом автоматически учитывается вся обстановочная афферентация и сама мотивация как стимул. "Извлечение из памяти" — это не возбуждение действий, а такая их активация, которая производится только мотивационным возбуждением ввиду его химической специфичности и своеобразной "пачкообразной" активности: "...Доминирующая мотивация отражается в характерном распределении межимпульсных интервалов в нейронах различных отделов мозга. Распределение межимпульсных интервалов носит характер, специфический для различного биологического качества мотиваций" [24,с.170]. "Таким образом, пачкообразная ритмика центральных нейронов в условиях доминирующего пищевого мотивационного возбуждения отражает процессы ожидания пищевого подкрепления" [24,с.182]. Такая активность есть как бы "воображение", позволяющее мотивации по имеющимся закономерностям формировать конкретную цель, акцептор результатов действий и план действий. Получение реальных, а не в "воображении" результатов сразу же снимает специфическую активацию \downarrow мотивацией этих результатов: "удалось объективно зафиксировать процесс ожидания параметров пищевого подкрепления и, следовательно, прямо отнести их к аппарату акцептора результатов действия. Такими оказались нейроны, которые у голодных животных проявляют выраженную пачкообразную активность. Было установлено, что практически все нейроны с такой формой активности немедленно переходят на регулярную разрядную деятельность, как только животные удовлетворяют свою доминирующую пищевую потребность ... Причем было отмечено, что когда голодное животное видит пищу, пачкообразная активность заменяется на регулярную преимущественно у нейронов зрительной области коры мозга, при введении пищи в ротовую полость, — у нейронов таламической области, при поступлении пищи в желудок — у нейронов гипоталамической области, при введении глюкозы в кровь — у нейронов ствола мозга" [24,с.180]. Из рис. 4-6 видно, что все этапы афферентного синтеза — мо-

тивация, память, обстановочная и пусковая афферентации естественным образом сливаются.

План действий. Мотивация "извлекает из памяти" не просто последовательности действий da, db, dc, dd , а планы действий, выполнение которых приводило раньше к достижению цели. Далее на стадии принятия решений из всех "извлеченных из памяти" планов действий будет выбран один план. Поскольку план действий "извлекается из памяти" до всяких действий, то активация закономерностей плана может осуществляться только в "воображении". Более точно план действий представляет собой последовательность закономерностей (рис.5), которые активируются в "воображении" по внутренней контуре работы мозга, обозначенному на рис. 5 стрелкой \rightarrow . На рис. 4 эта последовательность представлена средней цепочкой $da \Rightarrow a \Rightarrow db \Rightarrow b \Rightarrow dc \Rightarrow c \Rightarrow dd \Rightarrow d$. По этой цепочке происходит "опережение хода событий в отношениях между организмом и внешним миром". Эта цепочка представляет собой последовательно "срабатывающие" в "воображении" закономерности (см. рис. 5 на с.33):

$$\begin{aligned} \text{Obc}(da) \& da \& \text{Res}(da) \Rightarrow a, \quad \text{Obc}(db) \& db \& \text{Res}(db) \Rightarrow b, \\ \text{Obc}(dc) \& dc \& \text{Res}(dc) \Rightarrow c, \quad \text{Obc}(dd) \& dd \& \text{Res}(dd) \Rightarrow d. \end{aligned} \quad (2)$$

"Срабатывание" в "воображении" означает передачу этими закономерностями пачкообразной активности, но не регулярное возбуждение, переход на которое осуществляется только после получения реальных результатов и безусловного их срабатывания. Что значит "срабатывание" в "воображении", например, закономерности $\text{Obc}(da) \& da \& \text{Res}(da) \Rightarrow a$ при отсутствии результата $\text{Res}(da)$? Такое "срабатывание" осуществляется по более слабым закономерностям (см. рис. 5):

$$\begin{aligned} \text{Obc}(da) \& da \Rightarrow a, \quad \text{Obc}(db) \& db \Rightarrow b, \\ \text{Obc}(dc) \& dc \Rightarrow c, \quad \text{Obc}(dd) \& dd \Rightarrow d, \end{aligned} \quad (3)$$

которые в соответствии с формальной моделью нейрона и семантическим вероятностным выводом рис.1, также обнаруживаются нейронами a, b, c, d . Но "срабатывание" нейронов a, b, c, d

по закономерностям (3) не означает, что не будут ожидать обратные афферентации $Res(da)$, $Res(db)$, $Res(dc)$, $Res(dd)$ от результатов действий, включенные в более "точные" закономерности (2) тех же самых нейронов a, b, c, d . Более "точная" закономерность включает в себя менее "точную", как, например, закономерность $Obs(da) \& da \& Res(da) \Rightarrow a$ включает в себя закономерность $Obs(da) \& da \Rightarrow a$. Более "точная" закономерность расположена на той же ветке семантического графа рис.1, что и менее точная и, значит, если нейроном обнаружена более "точная" закономерность, то всегда обнаружена и менее "точная". Более "точная" закономерность всегда имеет строго большую оценку предсказания и в этом смысле уточняет более слабую закономерность. "Срабатывание" менее "точной" закономерности при наличии более "точной" всегда означает, что в большинстве случаев в прошлом через какой-то момент времени приходила на "вход" нейрона и "уточняющая" информация, позволяющая "сработать" и более точной закономерности и тем самым сделать более точное предсказание как этапного, так и конечного результата, в противном случае более "точная" закономерность не смогла бы быть обнаружена на основании прошлого опыта. Поэтому, несмотря на "срабатывание" менее точной закономерности, нейрон ожидает поступление уточняющей информации. Его ожидание состоит в том, что он готов немедленно (с меньшим латентным периодом срабатывания нейрона, ввиду более высокой вероятности этой закономерности) "сработать" (увеличить частоту импульсаций в соответствии с увеличением вероятности предсказания) по более "сильной" закономерности. Но, как было объяснено ранее, закономерности (2) не просто являются более "точными", а сигнализируют безусловно (с вероятностью близкой к 1 или по безусловному стимулу) о фактическом достижении результата, что снимает "пачкообразную" активность и переводит нейрон на регулярную активность, тем самым различая "воображение" и факт. Пока же обратные афферентации от результатов не получены, "пачкообразная" активность мотивации переводит нейроны a, b, c, d в состояние ожидания этих результатов, т.к. регулярной активностью (безусловной) эти нейроны "сработать" не могут по той причине, что условия этих закономерностей не выполнены в си-

лу того, что одно из условий $\text{Res}(da), \text{Res}(db), \text{Res}(dc), \text{Res}(dd)$ не выполнено. Поэтому нейроны a, b, c, d , с одной стороны, передают пачкообразную активность в "воображении" по закономерностям (3) а, с другой стороны, ожидают обратную афферентацию $\text{Res}(da), \text{Res}(db), \text{Res}(dc), \text{Res}(dd)$, требуемую более сильными закономерностями (2), срабатывающими безусловно, после чего они переходят в регулярную активность. Активация в "воображении" результатов a, b, c, d , активирует следующие действия по цепочке закономерностей (рис. 5). Тем самым в "воображении" активизируется весь план действий, эффективность которого, в целом, оценивается на следующем этапе — этапе принятия решений.

Принятие решений осуществляется при рассмотрении плана действий с учетом переключающей функции эмоций, т.е. на основании качества возникшей эмоции и вероятности прогноза достижения цели по данному плану. Вероятность прогноза оценивается не по плану (рис. 5). Как было сказано, принципиально не существует хороших методов пересчета вероятностей предсказания "вдогонку" логическому выводу, который представлен здесь планом (рис. 5). Мозг "обходит" любой логический вывод находя всего одну вероятностную закономерность, предсказывающую конечный результат. Такой закономерностью в данном случае является закономерность

$$M \& da \& \text{Obc}(da) \& db \& \text{Obc}(db) \& \\ \& dc \& \text{Obc}(dc) \& dd \& \text{Obc}(dd) \Rightarrow d, \quad (4)$$

выработанная нейроном d . Поэтому вероятность достижимости конечного результата по плану оценивается закономерностью (4), учитываемой эмоциями. Это не означает, что план не "проигрывается" в "воображении". Для "проигрывания" планов действий достаточно в "воображении", моделируя, например, метод "проб и ошибок", выбрать некоторую последовательность действий da, db, dc, dd , по которой, если "проиграть" закономерностями (рис. 5) последовательность получаемых этапных результатов, то эти действия, во-первых, приведут к достижению конечного результата, а, во-вторых, по закономерности (4) дадут достаточно хорошую оценку предсказания достижимости этого результата. План должен проигрываться с целью обеспечения

согласованности всех действий (и обеспечения его непротиворечивости, так как есть еще тормозные закономерности). Таким образом, план может быть оценен эмоциями по качеству мотивации и закономерности (4), дающей вероятностную оценку плана. Но для полной реализации переключающей функции эмоций в процессе принятия решений, необходимо допустить возможность произвольной вариации плана в "воображении". Это осуществляется мозгом как своеобразный "блочный" семантический вероятностный вывод (рис. 4,5).

Рассмотрим более подробно, как мозг осуществляет "блочный" семантический вероятностный вывод (рис.4,5). Это одновременно объяснит, как совершенствуется план действий (рис. 5) в целом путем его локальных и/или глобальных изменений. Это происходит за счет изменений вывода (рис.4,5) путем вариации плана действий в соответствии с переключающей функцией эмоций. **Принятие решений** состоит в том, что при данной мотивации *М* и сопровождающей ее отрицательной эмоции, мозг стремится найти такой план действий, который давал бы максимальную положительную эмоцию — предвосхищение достижения результата определенного качества с максимальной оценкой вероятности достижимости этого результата. За счет активирующего действия мотивации *М*, мозг в "воображении" может "проигрывать" различные варианты достижения цели. При этом все необходимые для достижения конечной цели эталпные результаты (строго увеличивающие вероятность достижения конечного результата) включаются в результирующий план действий. **Поэтому принятие решений и есть процесс организации семантического "блочного" вероятностного вывода (рис. 4,5), осуществляемого мозгом.** "Проигрывая" различные планы действий, мозг проигрывает тем самым различные семантические вероятностные выводы, пытаясь найти такой, который бы обеспечил как требуемое качество цели, так и максимальную оценку вероятности предсказания. Таким образом, **эмоции как интегральные оценки решений являются в то же время теми оценками, которые организуют семантический вероятностный вывод как отдельных нейронов (путем подкрепления см. рис.1), так и мозга в целом (находя наилучший**

"блочный" семантический вероятностный вывод). Нейрон организует семантический вывод путем построения "уточняющего" графа рис.1, а мозг — путем организации "блочного" (рис. 6) вероятностного вывода (рис. 4,5). Цепочка предсказаний (рис. 4,5) отличается от "уточняющего" графа, во-первых, тем, что она линейна, в силу линейности последовательности действий, а, во-вторых, тем, что она связана с деятельностью во внешней среде, действия в которой надо одновременно предвосхищать и контролировать. Но цель работы отдельного нейрона и мозга в целом одна и та же — организация семантического вероятностного вывода с целью достижения максимальной точности предсказания.

Конкретная цель [13] ставится активацией \downarrow мотивацией M последовательности действий da, db, dc, dd , выбранной в процессе принятия решения. Как уже говорилось, эта активация в "воображении" передается всем нейронам результатов a, b, c, d по закономерностям (3). Так как результаты $Res(da), Res(db), Res(dc), Res(dd)$ действий еще не получены, то нейроны результатов a, b, c, d перейдут в состояние ожидания этих результатов в соответствии с закономерностями (2). Это и есть постановка конкретной цели — ожидание всеми нейронами результатов a, b, c, d — всей совокупностью обратных афферентаций о результатах совершенных действий $Res(da), Res(db), Res(dc), Res(dd)$.

Акцептор результатов действия и есть вся ожидаемая обратная афферентация результатов $Res(da), Res(db), Res(dc), Res(dd)$. Если конкретная цель ставится всей совокупностью результатов a, b, c, d , как ожидание достижения этих результатов, то обратная афферентация от всей совокупности действий и есть акцептор результатов действия. После совершения какого-либо действия мозг ожидает получения реального результата от действий по внешнему контуру. После получения реального результата осуществляется "сличение предсказания с параметрами реального результата". Это сличение осуществляется закономерностями (2). "Сличение" состоит в том, что все эти закономерности не смогут "сработать", если не будет получена именно та обратная афферентация, которая записана в закономерности. Если при каком-то действии

будет получена другая афферентация, то немедленно возникнет ориентировочно-исследовательская реакция. Более точно, ориентировочно-исследовательская реакция возникает тогда и только тогда, когда теряется или резко падает оценка предсказания конечного результата, полученная на основании плана действий (рис. 5).

4.4. Формула эмоций. Замещающая функция эмоций. В формуле эмоций $\Theta = f[\Pi, (I_{\Pi} - I_c), \dots]$ основной является разность $(I_{\Pi} - I_c)$ — "оценка вероятности (возможности) удовлетворения потребности на основе врожденного и онтогенетического опыта". Такой оценкой следует считать оценку условной вероятности $b \Rightarrow d$ достижимости конечного результата d после достижения некоторого этапного результата b . Как мы видели, после достижения каждого промежуточного результата, ведущего к достижению конечной цели, условная вероятность таких вероятностных закономерностей строго возрастает и, значит, разность $(I_{\Pi} - I_c)$ (даже если она отрицательна) всегда увеличивается, что приводит к положительным эмоциям.

Как отмечалось в [14] "нарастание эмоционального напряжения, с одной стороны, расширяет диапазон извлекаемых из памяти энграмм, а с другой стороны, снижает критерии "принятия решения" при сопоставлении этих энграмм с наличными стимулами". Происходит это автоматически путем повышения уровня возбудимости нейронов при усилении мотивации (сильный голод) и соответствующем усилении отрицательных эмоций. В этом случае, в соответствии с формальной моделью нейрона и "уточняющим" графом, происходит активация тех вероятностных закономерностей, которые были обнаружены на ранних этапах формирования функциональных систем, и которые имеют не очень высокую оценку условной вероятности. Эти вероятностные закономерности имеют меньшее число предикатов в условиях закономерностей и, значит, являются более генерализованными и применимыми в более широком числе случаев. Это в точности реализует обратный, по сравнению с развитием функциональных систем, механизм редукции функциональных систем. Если ориентировочно-исследовательская реакция развивает функциональные системы и удлиняет ветви "уточняющего" графа в ве-

роятностных закономерностях, то поднятие уровня возбудимости нейронов, позволяет "срабатывать" старым, "слабым" закономерностям (при неприменимости более сильных в данной новой или неожиданной обстановке) и возбуждать нейрон, приводя, таким образом, к более генерализованным способам действий.

4.5. Взаимосвязь принципов целеполагания и предсказания. Формальная модель работы мозга, синтезирующая оба принципа. Математическая модель работы мозга, вытекающая из принципа целеполагания, представляет собой иерархию слабых формальных систем. Математической моделью работы мозга, вытекающей из принципа предсказания, является множество функциональных систем $PR(M, P, \Xi)$. Принцип работы и содержание каждой функциональной системы описан в предыдущих разделах. Как связаны между собой эти две модели работы мозга?

Множество $PR(M, P, \Xi)$ вероятностных закономерностей обнаруживается на множестве всех потребностей $\{< M, P, \Xi >\}$, являющемся множеством всех исходных целей организма. Как мы видели, эти исходные цели на начальном этапе формирования функциональных систем достигаются "реагированием по принципу доминанты" [14] или методом "проб и ошибок", т.е. наименее дифференцированными деятельностями. Дальнейшее совершенствование функциональных систем организма происходит уже путем увеличения этапных результатов и обогащением акцептора результатов действия при участии ориентировочно-исследовательской реакции. Обученный организм имеет уже довольно сложную последовательность и иерархию целей и подцелей для каждой функциональной системы. Эти последовательности и иерархии целей и подцелей формируются из структуры предсказаний во внешнем мире, которую улавливает мозг в виде множества вероятностных закономерностей $\{PR(M, P, \Xi)\}$.

Формальная модель работы мозга, основанная на принципе целеполагания, и представляющая собой иерархию слабых формальных систем предполагает, что все множество целей каким-то образом задано. Принцип же предсказания начинает с задания только множества исходных целей $\{< M, P, \Xi >\}$, остальные цели получаются в результате длительного процесса обучения.

Кроме того, полученная по принципу предсказания иерархия результатов, включающая интуицию (см. разд. 5), уже не может быть полностью осознана и, как показано в п.5.2, даже не может быть "извлечена" из эксперта как знание. Поэтому, полученная в результате обучения по принципу предсказания, иерархия целей принципиально не может быть как-то изначально дана, как это требуется принципом целеполагания и, следовательно, применение формальной модели, основанной на иерархии слабых формальных систем, уже принципиально невозможно.

Предположим, что мы вывели чисто формально иерархию и последовательность целей из анализа множества $\{PR(M, P, \Theta)\}$. Какую лучше в этом случае использовать формализацию работы мозга — основанную на слабых формальных системах или на множестве $\{PR(M, P, \Theta)\}$? Как было сказано, множество PR "сильнее" любого логического вывода с точки зрения получения предсказаний.

Несмотря на все эти рассуждения, принцип целеполагания продолжает играть важную роль в модели $\{PR(M, P, \Theta)\}$. Само обнаружение вероятностных закономерностей невозможно без целей (M, P, Θ) . Фактически в модели $\{PR(M, P, \Theta)\}$ принцип целеполагания и принцип предсказания синтезированы в одну модель, которую мы и будем в дальнейшем считать **формальной моделью работы мозга, синтезирующей оба принципа**.

5. Объяснение схем восприятия У.Найсера

5.1. **Схема восприятия У.Найсера [19].** Продолжим анализ схем восприятия У.Найсера, начатый в [13]. Напомним вывод, сделанный в работе [13]: "Итак, схемы образуют иерархию, в которой максимальными схемами являются схемы-мотивы, пространственно-временные схемы города, страны "образ мира" и т.д. Но как объяснить возникновение и совершенствование самих схем остается неясным. Тем самым нет ответа и на главный вопрос: Что мы видим? Какую часть информации из всего потока мы обучаемся **предвосхищать**? На восприятие (извлечение) какой информации мы настраиваемся своими движениями, настройкой зрительной системы и т.д.? Например, Дж.Гибсон,

и в этом с ним солидарен У.Найсер, утверждают, что на инвариантную, хотя ни они, ни их последователи так и не дали определения инвариантной информации”.

Постараемся ответить на эти вопросы, которые оставлены в теории У.Найсера без ответа: опишем процесс формирования схем, разрешим парадокс восприятия, определим инвариантную информацию и значение объекта.

Уточним основное понятие У.Найсера — предвосхищение — как предсказание. Тогда нетрудно понять, что **каждый отдельный “блок”** (рис. 6) деятельности и есть **схема**. Напомним определение схемы: “По моему мнению, важнейшими для зрения когнитивными структурами являются предвосхищающие схемы, подготавливающие индивида к принятию информации строго определенного, а не любого вида и, таким образом, управляющие зрительной активностью. Поскольку мы способны видеть только то, что умеем находить глазами, именно эти схемы (вместе с доступной в данный момент информацией) определяют, что будет воспринято. ... В каждый момент воспринимающим конструируются предвосхищения некоторой информации, делающие возможным для него принятие ее, когда она оказывается доступной. Чтобы сделать эту информацию доступной, ему часто приходится активно исследовать оптический поток, двигая глазами, головой или всем телом. Эта исследовательская активность направляется все теми же предвосхищающими схемами, представляющими собой своего рода планы для перцептивных действий, так же как и готовность к выделению оптических структур некоторых видов. Термин “восприятие” относится ко всему циклу (перцептивному циклу — Е.В.), а не к какой-то отдельной его части.” [19, с.44]. Проинтерпретируем это определение в терминах “блоков” (рис. 6) действий: в каждый момент воспринимающим, на основании уже полученного результата b от предыдущего акта восприятия, конструируются предвосхищения по закономерности $\text{Обс}(dc) \& dc \& \text{Res}(dc) \Rightarrow c$ поступления некоторой “определенной информации” $\text{Res}(dc)$ (обратной афферентации) о результатах перцептивного действия dc , делающие возможным для него принятие ее (“принятие ее” означает “сличение” акцептором результатов действия предвосхищения $\text{Res}(dc)$ с реально

поступающей стимуляцией), когда она оказывается доступной ("оказывается доступной" — перцептивное действие dc достигает своего результата по внешнему контуру \rightarrow и делает стимуляцию из внешней среды доступной для восприятия). Чтобы сделать эту информацию доступной ему приходится активно исследовать оптический поток, двигая глазами, головой и всем телом (перцептивные действия dc). В общем случае, в "блоке" (рис.6) целью восприятия является некоторый (эталный) результат c , представляющий собой не просто восприятие некоторой "определенной информации" $Res(dc)$, а еще и ее значения c . Цель ставится ожиданием по закономерности $Обс(dc) \& dc \& Res(dc) \Rightarrow c$ получения информации в виде обратной афферентации $Res(dc)$ о достижении результата — значения c . Перцептивные действия dc делают возможным не просто "принятие информации, когда она окажется доступной", а предсказывают поступление этой информации по закономерности $Обс(dc) \& dc \& Res(dc) \Rightarrow c$.

Целью восприятия некоторого объекта в результате некоторой целенаправленной деятельности, включающей в себя перцептивную деятельность, **является значение объекта**. Значение объекта и есть результат перцептивной деятельности по восприятию объекта. Он позволяет максимально точно определить что в результате перцептивной деятельности мы получили и эмоционально оценить приближает ли это нас к конечной цели или нет. Например, результатом перцептивной деятельности по восприятию хлеба является значение c — вид хлеба. Аналогично значением звонка (со всеми его свойствами: тоном, частотой, местом звучания и т.д.) и стука кормушки являются соответственно результаты перцептивной деятельности a и b . Схемы-мотивы есть функциональные системы, где мотивом является мотивация. Такие схемы, как пространственно-временные схемы кабинета, квартиры, квартала, города и т.д. являются результатами ориентировочно-исследовательской деятельности по их обследованию, которая является самостоятельной деятельностью организма [5].

Рассмотрим парадокс восприятия [13]: "Поскольку мы можем видеть только то, что предвосхищаем, то возникает следующую

ший парадокс восприятия: мы можем видеть только то, что предвосхищаем, но мы можем предвосхищать только то, что научились видеть. Здесь, очевидно, есть замкнутый круг. В терминах понятия цели парадокс восприятия выглядит так: ...предвосхищать и значит ставить перед восприятием цель воспринять некоторую "определенную информацию" мы можем только тогда, когда мы уже знаем что должно быть результатом — "определенной информацией". Знать о ней мы можем только восприняв ее раньше, предвосхищая ее в некотором предыдущем акте восприятия, в противном случае мы ее просто не увидим и она будет проигнорирована. Целью этого предыдущего предвосхищения и восприятия может быть только восприятие большего объема "определенной информации", включающей в себя "определенную информацию" последующего акта восприятия. То есть в этом замкнутом кругу "определенная информация" может только сужаться, но первый акт восприятия объяснить все равно невозможно, так как всю информацию, как утверждает У.Найсер, воспринять нельзя, так как воспринимается только то, что предвосхищается." Иначе говоря, понятие схема описывает только функционирование "блока". Объяснить как совершенствуется отдельный "блок" или как формируется "блок" в рамках теории схем У.Найсера уже невозможно. Действительно, процесс формирования и совершенствования схем происходит с участием ориентировочно-исследовательской реакции, как описано в пп.4.2,4.3, что не может быть описано в рамках теории схем восприятия. **Разрешение парадокса восприятия** и объяснение формирования отдельных "блоков" приведено в пп.4.2,4.3. Первоначально схема возникает из ориентировочно-исследовательской перцептивной деятельности, в которой животное активно исследует "все неизвестные ранее" раздражители окружающей среды, используя для восприятия исследовательскую перцептивную деятельность. В исследовательской перцептивной деятельности у нас еще нет цели восприятия некоторой "определенной информации" и поэтому строго говоря это не восприятие. Цель этой деятельности — обеспечить поступление всей доступной информации, какая уж будет воспринята. Ориентировочно-исследовательская реакция ничего не предвосхищает и зако-

номерностей, предсказывающих значение, у нее еще нет, поэтому восприятием в смысле У.Найсера ориентировочно-исследовательская реакция не является. Формирование на основе этой информации восприятия чего-то конкретного требует выделения из всей поступающей информации той, которая связана с целями деятельности. Это происходит в процессе обучения, когда ориентировочно-исследовательская реакция "связывает" поступившую информацию со значениями a, b, c, d восприятия, путем обнаружения вероятностных закономерностей вида $Obc(dc_i) \& dc_i \& Rev(dc_i) \Rightarrow dc_{i+1}, \quad i = 1, \dots, k-1$. Можно показать, что при скачкообразном движении глаз довольно простые закономерности способны практически полностью предвосхитить то, что будет воспринято в следующий момент времени. Далее, как было объяснено в пп.4.2,4.3, автоматически формируются этапы перцептивной деятельности, позволяющие наиболее точно предсказывать дальнейшие перцептивные действия и возможность достижения конечной цели. Такими этапами, как правило, являются признаки объектов и значения частей объектов. Поэтому, автоматическое формирование этапов перцептивной деятельности, одновременно есть и **автоматическое формирование схем восприятия значений, признаков, свойств и т.д. объектов.**

Рассмотрим более детально, что такое значение объекта. Для этого рассмотрим еще раз процесс совершенствования деятельности и достижение контроля над внешним миром (см.пп.4.2,4.3). Рассмотрим в качестве примера восприятие вида хлеба. В пп.4.2 показано, что, действие dc и его этапный результат с автоматически заменяются на действие dc' и этапный результат c' , если только условная вероятность предсказания конечного результата по закономерности $c' \Rightarrow d$ станет строго выше, чем $c \Rightarrow d$. Заметим, что автоматический переход от восприятия стимула c к восприятию стимула c' , дающего строго большую оценку предсказания достижимости конечного результата, есть процесс **автоматического извлечения наиболее инвариантной информации в смысле Дж.Гибсона**. Действительно, чем выше условная вероятность предсказания результата d , тем в большем числе случаев, при истинности посылки c , будет истинно и заключение

d , и значит, тем на большем числе объектов стимулы c и d будут одновременно истинны. Это и есть **инвариантность** стимула c по отношению к результату d . Сравним это объяснение с определением Дж.Гибсона: "То, что здесь подразумевается под устойчивостью и изменчивостью в окружающем мире, соотносимо с абстрактными математическими понятиями инвариантности и вариативности. При любом преобразовании имеются варианты и инварианты, т.е. переменные и постоянные. Одни свойства сохраняются, другие — нет" [17, с.39]. У.Найсер дает сжатое изложение точки зрения Дж.Гибсона на восприятие, как "извлечение" инвариантов следующим образом: "Когда наблюдатель или объект движутся, некоторые характеристики потока света остаются инвариантными, тогда как другие меняются; эти инвариантные во времени характеристики еще более специфицируют топографию среды. Наблюдатель воспринимает благодаря тому, что он попросту "улавливает" эти инварианты" [19, с.40]. Поэтому автоматический переход от закономерности $c \Rightarrow d$ к закономерности $c' \Rightarrow d$ есть **автоматический поиск наиболее инвариантного** и устойчивого, по отношению к изменению обстановочной и обратной афферентации, стимула, сигнализирующего о достижении соответствующего этапного результата. Значение объекта c' — это его **максимальный инвариант**. Стимулы же $Res(dc')$ представляют собой такое описание объекта c' , из которого он предсказывается безусловно или с вероятностью близкой к 1. Далее в процессе обучения происходит "сужение афферентации" $Res()$, приводящее к выделению тех стимулов внешней среды, которые дают наиболее точное и с вероятностью близкой к 1 предсказание результата — в нашем случае предсказание (распознавание) значения. Стимулы "суженной афферентации" $Res()$ становятся частью акцептора результатов действия. Насколько тонка она может быть, проявляется в интуиции (см. далее). Кроме того, в закономерностях более мелких этапов $Obs(dc_i) \& dc_i \& Res(dc_i) \Rightarrow dc_{i+1}$, $i = 1, \dots, k-1$, представляющих собой перцептивную деятельность рассматривания, автоматически включится вся обстановочная и обратная афферентация, обеспечивающая с вероятностью близкой к 1 достижение каждо-

го этапного результата, что приводит к ощущению реальности жизни во внешнем мире.

Сравним данное определение значения объекта с теми определениями, которые были даны У.Найсером и Дж.Гибсоном. Напомним точку зрения Дж.Гибсона: "все потенциальные способы использования объекта — предоставляемые им возможности действия — могут быть непосредственно восприняты. Инвариантные характеристики светового потока специфицируют (выделено — Е.В.), что пол позволяет ходить по нему, ручка дает возможность писать и т.д." [17, С.93]. У.Найсер следующим образом модифицирует определение Дж.Гибсона: "Трудность, связанная с этим определением (определением Дж.Гибсона — Е.В.) состоит в том, что предоставляемые объектом возможности — или, иначе, его значение — зависят от того кто его воспринимает. Каждый естественный объект может иметь огромное множество способов употребления и потенциальных значений, и каждый световой поток специфицирует бесконечное множество возможных свойств. Воспринимающий делает выбор из этих свойств и предоставлений благодаря специфической готовности к восприятию некоторых из них" [19, с.92]. Что такое "специфическая готовность" У.Найсер не определяет. Что значит "инвариантные характеристики специфицируют" Дж.Гибсон тоже не определяет. Ни они, ни их последователи, так и не дали определения инвариантной информации. Загадочная фраза, что "инвариантные характеристики светового потока специфицируют, что пол позволяет ходить по нему" означает следующее: что, если нашей целью будет ходьба по полу, то перцептивными действиями **автоматически будут выработаны такие этапные результаты — инварианты** обследования пола, что из них будет предсказываться и предвосхищаться не только возможность ходьбы по полу, но более конкретно, как ходить, куда наступить и т.д. для достижения цели ходьбы по полу. "Специфическая готовность" к восприятию некоторых из "бесконечного множества возможных свойств", позволяющая, по мнению У.Найсера, воспринять из всех возможных инвариантов те, которые говорят, что по полу можно ходить, объясняется, как было сказано, формированием таких этапных результатов и цепочек действий вида (рис.4,5), которые обеспе-

чивают реальную ходьбу по полу с участием перцептивных действий.

Точка зрения Дж.Гибсона на восприятие как "извлечение инвариантов" объясняется следующим образом. Поскольку результатом восприятия любого признака или объекта является соответствующий этапный результат, являющийся инвариантом, то "восприятие как извлечение инвариантов" есть не что иное как объяснение восприятия через восприятие только (этапных) результатов перцептивной деятельности. Если теорию функциональных систем перенести на восприятие, с ее последовательностью и иерархией результатов, то мы получим теорию восприятия Дж.Гибсона, правда без таких важных частей как акцептор результатов действия, ориентировочно-исследовательская реакция и т.д.

5.2. Интуиция — это все множество стимуляций, содержащихся во всех обратных афферентациях $Res()$ некоторого развитого акцептора результатов действия.

Покажем, что среди всей этой стимуляции есть как осознанная стимуляция, так и не осознанная. Это лучше всего продемонстрировать на примере знаний экспертов. В рамках искусственного интеллекта сформировалось направление экспертные системы, одной из основных задач которого является "извлечение" знаний из эксперта. Принципиальная трудность построения экспертных систем состоит в том, что очень часто эксперт не в состоянии сказать, по каким неуловимым признакам он ставит, например, диагноз. Опытный врач получает большую часть информации уже при первом взгляде на больного. Известен, например, такой эксперимент: мужчинам показывали фотографии женщин, у некоторых из которых были чуть подретушированы (увеличены) зрачки. Такие фотографии нравились мужчинам больше, хотя никто из них не в состоянии был ответить почему именно.

Автоматически выискивая всю информацию, позволяющую осуществлять предсказания с вероятностью близкой к 1, человек автоматически, бессознательно обогащает обратную афферентацию $Res()$. При этом он принципиально не в состоянии всю ее осознать. Более того, попытка заставить эксперта вербализировать, осознать или сформулировать признаки, по которым он

ставит диагноз, приводит к тому, что эксперт "портит" свою интуицию. Он оказывается в положении сороконожки, которую заставили задуматься, как она ходит. Поэтому при "извлечении" знаний из эксперта "инженерам по знаниям" не рекомендуется "пытать" эксперта.

Л и т е р а т у р а

1. АНОХИН П.К. Эмоции // Большая медицинская энциклопедия. Т. 35. — М., 1964.

2. АНОХИН П.К. Принципиальные вопросы теории функциональных систем //Философские аспекты теории функциональных систем. — М.: Наука, 1978. — С. 49-106.

3. АНОХИН П.К. Опережающее отражение действительности //Философские аспекты теории функциональных систем. — М.: Наука, 1978. — С. 7-27.

4. АНОХИН П.К. Системный анализ интегративной деятельности нейрона //П.К. Анохин. Очерки по физиологии функциональных систем. — М.: Медицина, 1975. — С. 444.

5. АНОХИН П.К. Роль ориентировочно-исследовательской реакции в образовании условного рефлекса//Анохин П.К. Системные механизмы высшей нервной деятельности: Избр. тр. — М.: Наука, 1979. — С. 338-352.

6. ВИТЯЕВ Е.Е. Метод обнаружения закономерностей и метод предсказания // Эмпирическое предсказание и распознавание образов. Новосибирск, 1976. Вып. 67: Вычислительные системы. — С. 54-68.

7. ВИТЯЕВ Е.Е. Закономерности в языках эмпирических систем и законы классической физики //Эмпирическое предсказание и распознавание образов. — Новосибирск, 1979. — Вып. 79: Вычислительные системы. — С.45-56.

8. ВИТЯЕВ Е.Е. Логико-операционный подход к анализу данных //Комплексный подход к анализу данных в социологии: Тр. Ин-та Соц. Иссл. АМН. — 1989. С. 113-122.

9. ВИТЯЕВ Е.Е. Предсказание и индуктивный синтез ПРОЛОГ-программ по вероятностной модели данных (Prediction

and inductive synthesis of POLOG-programs by a probabilistic model of data) //Новосибирск, 1990. с. 34. Препринт № 24.

10. ВИТЯЕВ Е.Е. Обнаружение закономерностей (методология, метод, программная система SINTEZ). 1. Методология //Методологические проблемы науки. — Новосибирск, 1991. — Вып. 138: Вычислительные системы. — С.26-60.

11. ВИТЯЕВ Е.Е. Семантический подход к созданию баз знаний. Семантический вероятностный вывод наилучших для предсказания ПРОЛОГ-программ по вероятностной модели данных //Логика и семантическое программирование. — Новосибирск, 1992. — Вып. 146: Вычислительные системы. — С. 19-49.

12. ВИТЯЕВ Е.В. Принципы работы мозга и процесс познания в Науке и Искусстве. Часть 1. Физиологические теории. Методическое пособие. — Новосибирск, 1995. — 61 с. (Кафедра логики и методологии науки философского факультета НГУ.)

13. ВИТЯЕВ Е.Е. Целеполагание как принцип работы мозга //Модели когнитивных процессов. — Новосибирск, 1997. — Вып. 158: Вычислительные системы. — С. 9-52.

14. ВИТЯЕВ Е.Е. Вероятностное прогнозирование и предсказание как принцип работы мозга //Измерение и модели когнитивных процессов — Новосибирск, 1998. — Вып. 162: Вычислительные системы. — С.14-40.

15. ВИТЯЕВ Е.Е., МОСКВИТИН А.А. Введение в теорию открытий. Программная система DISCOVERY //Логические методы в информатике. — Новосибирск, 1993. — Вып. 148: Вычислительные системы. — С. 117-163.

16. ВИТЯЕВ Е.Е., ПОДКОЛОДНЫЙ Н.Л. От экспертных систем к системам, создающим теории предметных областей //Компьютерный анализ структуры, функции и эволюции генетических макромолекул. — Новосибирск, 1989. — С.264-282.

17. ГИБСОН Дж. Экологический подход к зрительному восприятию. — М.: Прогресс, 1988. — 462 с.

18. ЕРШОВ Ю.Л., САМОХВАЛОВ К.Ф. О новом подходе к философии математики //Структурный анализ символических последовательностей. — Новосибирск, 1984. — Вып. 101: Вычислительные системы. — С. 141-148.

19. НАЙСЕР У. Познание и реальность. Смысл и принципы когнитивной психологии. — М.: Прогресс, 1981. — 230 с.
20. ПОЛЯКОВ Г.И. О принципах нейронной организации мозга — М., 1965. — 165 с. (Московский госуниверситет)
21. СИМОНОВ П.В. Эмоциональный мозг. — М.: Наука, 1981. — 140 с.
22. СИМОНОВ П.В. Высшая нервная деятельность человека (мотивационно-эмоциональные аспекты). — М.: Наука, 1975. — 173 с.
23. СУДАКОВ К.В. Системные механизмы эмоционального стресса. — М., Медицина, 1981. — 228 с.
24. СУДАКОВ К.В. Общая Теория Функциональных систем. — М.: Медицина, 1984. — 222 с.
25. Функциональные системы организма /Под ред. К.В.Судакова. — М., Медицина, 1987. — 430 с.
26. ШВЫРКОВ В.Б. О системных основах психофизиологии // Системный подход к психофизиологической проблеме. — М.: Наука, 1982. — С. 10-22.
27. ADAMS Er.W. The logic of conditionals //An application of probability to deductive logic //Synthese Library. — 1975. — Vol. 86.
28. FITTING M.C. Logic Programming on a Topological Bialgebras //Fundamenta Informatica. — 1988. — Vol 11. — P. 209-218.
29. GAIFMAN H. Concerning measure in first order calculi //Israel journal of Math. — 1964. — Vol 2, № 1. — P. 1-18.
30. GONCHAROV S.S., ERSHOV Yu.L., SVIRIDENKO D.I. Semantic programming //10th World Congress Information Processing 86, Dublin, 1986. — Amsterdam, 1986. — P. 1093-1100.
31. HALPERIN T. Probability Logic //Notre Dame J. of Formal Logic. — 1984. — Vol. 25, № 3. — P. 198-212.
32. HALPERN J.Y. An analysis of first-order logics of probability //Artificial Intelligence. — 1990. — Vol. 46. — P. 311-350.

33. KIFER M., SUBRAHMANIAN V.S. Theory of Generalized Annotated Logic Programming and its Applications //Research report. University of Maryland, USA, 1990.
34. NILSSON Nils J. Probability logic //Artif. Intell. - 1986. - Vol. 28, № 1. -- P.71-87.
35. NG R.T., SUBRAHMANIAN V.S. Probabilistic reasoning in Logic Programming //Proc. 5th Symposium on Methodologies for Intelligent Systems, Knoxville. - North-Holland, 1990. -- P. 9-16.
36. NG R.T., SUBRAHMANIAN V.S. Annotation Variables and Formulas in Probabilistic Logic Programming //Technical Report CS TR-2563. University of Maryland, 1990.
37. SCOTT D.S., KRAUSS P. Assigning Probabilities to Logical Formulas //Aspects of Inductive Logic. /ed. J.Hintikka, P.Suppes. -- N.Holland, 1966. -- P. 219-264.
38. SHAPIRO E. Logic Programs with Uncertainties: A Tool for Implementing Expert Systems //Proc. IJCAI '83, Williams Kaufman. -- 1983. -- P. 529-532.
39. SHAPIRO E. Algorithmic Program Debugging //MIT Press. -- 1983. -- P.204.
40. Van EMDEN M.N. Quantitative deduction and its fixpoint theory //J. Logic Programming. -- 1986. -- Vol. 3, № 1. -- P. 37-53.

Поступила в редакцию
20 января 1998 года