

Принципы работы мозга, содержащиеся в теории функциональных систем П.К. Анохина и теории эмоций П.В. Симонова¹

Витяев Е.Е.

Институт математики им. С.Л. Соболева, evgenii.vityaev@math.nsc.ru

Аннотация. В работе анализируются принципы работы мозга, заложенные в теории функциональных систем П.К. Анохина (принцип целеполагания) и информационной теории эмоций П.В. Симонова (принцип вероятностного прогнозирования). Показывается, на основании множества цитат и переизложения этих теорий, основываясь на этих принципах, что они действительно составляют основу этих теорий. Находятся математические теории, базирующиеся на аналогичных принципах: понятие задача, лежащем в основании математики, и предсказания, формализующем вероятностное прогнозирование. Опираясь на сходстве принципов математических и физиологических теорий, устанавливаются концептуальные мосты между упомянутыми математическими и физиологическими теориями. Опираясь на эти мосты, приводится формализация этих физиологических теорий и даются основные схемы функционирования мозга, объясняющие основные свойства теорий П.К. Анохина и П.В. Симонова.

1. Принципы и основания естественнонаучных теорий

Теории и принципы. Метод исследования работы мозга, основанный на принципах. Зададимся вопросом, каким образом можно разобраться в огромной совокупности различных теорий, занимающихся исследованиями работы мозга? Поскольку работа мозга многогранна, то в различных теориях она описывается с разных точек зрения, в разных системах понятий и поэтому эти теории, как правило, несовместимы между собой. Например, такая ситуация имеет место для теорий восприятия. Достаточно образно она выражена А. Д. Логвиненко в предисловии к переводу книги [17]: «Первое знакомство с теориями восприятия производит обескураживающее впечатление. Прежде всего, ошеломляют обилие теорий, их эклектическая пестрота и порой почти полная несовместимость. Тех, у кого достанет терпения разобраться в этом чудовищно запутанном нагромождении идей, подходов, направлений и т. п., ожидает еще один сюрприз. Оказывается, что никакой теории восприятия нет, и никогда не было. Были более или менее удачные идеи, но не было ни одной достаточно развитой теории».

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 08-07-00272-а; интеграционных проектов СО РАН №1, 115, а также Государственного контракта 2007-4-1.4-00-04 и Совета по грантам Президента РФ и государственной поддержке ведущих научных школ (проект НШ-335.2008.1).

Теории различны по вполне естественным причинам: у них различны системы понятий (онтологии), определяющие как бы «срез», «точку зрения», сквозь которую рассматривается объект исследования, у них различны априорные предположения, методы исследования, а также используемые вспомогательные теории и методы, и т. д. Все это составляет исходный *базис естественнонаучной теории (парадигму)*, определяющий предмет исследования, начальную естественнонаучную теорию и дальнейшее направление исследований. Развитие естественнонаучной теории осуществляется в рамках данной парадигмы и состоит в уточнении и развитии этого базиса: выдвигаются и проверяются новые гипотезы, формулируемые в системе понятий; теория развивается добавлением подтвержденных гипотез; делаются и экспериментально проверяются новые следствия теории и т. д. После накопления достаточного количества фактов делаются обобщения в виде новых *постулатов, принципов, аксиом, уравнений* и т. д. Эти обобщения, как правило, делаются одновременно с введением новых достаточно абстрактных понятий (теоретических терминов). Процесс обобщения доходит в результате до достаточно абстрактных и, как правило, простых постулатов, принципов, аксиом или уравнений, из которых могут выводиться все остальные или, по крайней мере, основные утверждения теории. Такие обобщения мы будем называть *принципами*.

Принципами теории будем называть такие наиболее общие утверждения теории, из которых вытекают все остальные наиболее важные утверждения этой теории, т. е. принципом должно быть такое общее утверждение (постулат, аксиома, уравнение) теории, из которого выводится почти вся теория. Если теория выводится из некоторого принципа, то такую теорию будем называть *теорией-принципом*.

Традиционно считается, что теория, развиваемая в рамках некоторой парадигмы, дает «картину» объектов исследования, согласующуюся со своим базисом. Но это не так. Как правило, точный анализ принципа (в частности, математический) вступает в противоречие с базисом теории, и это не случайно. Дело в том, что в принципах теории удается подняться над теми частностями в предположениях, методах исследования, используемом аппарате и т. д., которые были сделаны в процессе создания теории, и тем самым приблизиться к истине. В психологии, например, хорошо известно, что восприятие осуществляется от целого к частному. Восприятие деталей и частных направляется и корректируется восприятием целого. То же самое происходит и с теориями. Если теория развилась до теории-принципа, то последняя ближе к «истине». Теоретические понятия, для того и вводятся в теорию, чтобы углубить «точку зрения», «картину» объекта исследования и проникнуть в глубь него, в его суть. Если при этом основания (базис) теории вступают в противоречие с теорией-принципом, то надо менять основания, а не принципы. Однако никто не считает (за редчайшим исключением), что принципы важнее оснований, поэтому найденное противоречие не принимается научным сообществом, так как это требует пересмотра оснований и, значит, существующей парадигмы. Поскольку парадигма важнее принципов и её пересмотр – это целая «научная революция», то противоречие между базисом и теорией-принципом рассматривается как *парадокс*, которому не придают должного значения. Можно показать на множестве примеров, что надо действовать наоборот – пересматривать базис теории. Такой пересмотр и

называется «*научной революцией*». Такой путь развития теории, когда ищутся принципы, потом выводится теория-принцип, а затем производится «научная революция», путем пересмотра оснований, был бы регулярным методом развития теорий, включающим, как развитие теории в рамках одной парадигмы, так и смену парадигм.

Примером принципа в физике является принцип феноменологической симметрии Ю. И. Кулакова [21, 22, 23], из которого выводятся практически все фундаментальные физические законы, классификация физических законов и физические величины. Этот вывод требует пересмотра определений целого ряда физических понятий. В математике таким принципом является понятие задачи [19, 20] (включающее не только определение Задачи, но и требования к ней), сформулированное Ю. Л. Ершовым и К. Ф. Самохваловым, из которого вытекает новый взгляд на основания математики и необходимость пересмотра программы Д. Гильберта обоснования математики.

Теперь можно сформулировать *метод исследования*, который позволит найти принцип работы мозга и его формальную модель.

Теории-принципы обладают одним важным свойством: они позволяют устанавливать между собой *концептуальные мосты*. Если принцип некоторой теории-принципа интерпретируем в системе понятий некоторой другой теории-принципа, то и вся теория-принцип, выводимая из данного принципа, интерпретируема в системе понятий этой теории. Тем самым устанавливается концептуальный мост между этими теориями. Если принципы двух теорий-принципов выражают некоторое общее ключевое понятие или принцип, то в этом случае, как принципы, так и теории взаимно интерпретируемы или одна из теорий «вложима» в другую. Это позволяет осуществлять *синтез различных теорий через их принципы*, что невозможно сделать, используя только исходные теории.

Прийти к пониманию *принципа работы мозга* по-видимому можно только путем синтеза различных теорий через их принципы. При этом сначала следует выделить соответствующие принципы в рассматриваемых теориях (если они ещё не выделены). Затем привести эти теории к теориям-принципам с взаимно интерпретируемыми принципами. Если некоторый принцип окажется интерпретируем в подходящей математической теории, то мы получим формализацию соответствующей теории. В этом случае формализуется не только принцип, но и вся теория-принцип путем получения всех следствий из принципа. Обратная интерпретация формализации в исходную теорию может быть проверена на адекватность путем проведения экспериментов, что предъявляет значительно более сильные требования к формализации. Как показывают существующие примеры, построение математической теории-принципа – дело очень не тривиальное. Такой путь исследования ещё не осознан, и данная работа является попыткой демонстрации его эффективности.

В работе показано, что можно осуществить синтез некоторых теорий-принципов вместе с их формализациями в виде математических теорий-принципов. В синтезированной формальной теории исходные теории являются подтеориями. В синтезированную формальную теорию могут вкладываться не только исходные теории, но и некоторые другие теории-принципы вместе с их формальными теориями, принципы которых интерпретируемы в этой теории. Синтез принципов даёт нам ещё более полный принцип работы мозга. Данный

путь исследования и предпринят в работе для нахождения некоторых принципов работы мозга.

Целеполагание как принцип работы мозга [8]. В работах [18, 19, 20] было показано, что существующие проблемы в основаниях математики (программа Гильберта обоснования математики) связаны с отсутствием понятия задача. *Задача* определена тогда и только тогда, когда у нас есть критерий решённости задачи – критерий проверки: действительно ли предъявленное решение является решением задачи или нет. В этих работах показано, что рассмотрения математических исчислений самих по себе недостаточно. Их необходимо рассматривать вместе с классами задач, для решения которых они необходимы: «одна и та же теория как математическое исчисление содержательно будет иметь разные множества осмысленных высказываний, если она предназначена для обработки разных классов задач» [19]. Поэтому понятие «задача» является необходимым элементом рассмотрения любой математической теории и в этом смысле является их принципом рассмотрения: «Иными словами, математическая теория рассматривается просто как «резервуар» для более «бедных» формальных систем, по отдельности «извлекаемых» из всей теории в зависимости от той или иной имеющейся задачи» [19]. Таким образом, мы имеем принцип рассмотрения и применения математических исчислений. Этот принцип в работе [19] формализован и математически проанализирован. Задача осмысленна тогда и только тогда, когда есть критерий ее решённости. В математических теориях таким критерием обычно считается наличие доказательства решения задачи. Но этот критерий мы можем применить только тогда, когда в рамках самой формальной системы мы имеем как доказательство решения задачи, так и возможность убедиться средствами самой этой системы, что данное доказательство действительно является решением задачи. В работе [19] доказано, что только в «слабых» формальных системах мы можем средствами самой формальной системы определить, является ли некоторый текст доказательством решения задачи или нет. Тем самым только в «слабых» формальных системах доказательство решения задачи может быть критерием ее решённости.

П. К. Анохин также говорит о понятии задача: «Когда человек решил *задачу*, на каком основании он убежден, что решение правильно? Параметры правильности решения должны быть определены заранее, ведь неудачи коллег дали ему опыт «нерешенности» и позволили определить, что именно он будет считать решением. Следовательно, он не предвидел результата, но он предвидел, каким условиям должно удовлетворять решение» [2; с. 13].

Установим *концептуальный мост* между математической теорией [18, 19, 20] и теорией функциональных систем работы мозга П. К. Анохина. Можно заметить, что обобщением понятия задача является понятие *Цель*. Цель нельзя достичь, не имея критерия ее достижения, иначе всегда можно считать, что цель уже достигнута. Когда цель достигнута, мы имеем *результат* достижения цели, в котором «достижение» цели определено некоторым критерием. Понятие *Результат* является главным в теории функциональных систем работы мозга. Как отмечает П. К. Анохин, отсутствие понятия результата как критерия достижения цели является большим пробелом в исследованиях: «Пожалуй, одним из самых драматических моментов в истории изучения мозга как интегративного образования является фиксация внимания на самом действии, а не на его ре-

зультатах ... мы можем считать, что результатом «хватательного рефлекса» будет не само хватание как действие, а та совокупность афферентных раздражений, которая соответствует признакам «схватенного» предмета (результата действия)» [28, с. 27]. Как мы увидим, это требует своей специальной системы понятий, не рассматриваемой в других теориях.

На понятии результата и иерархии результатов, достигаемых в процессе целенаправленного поведения, основана вся теория функциональных систем П. К. Анохина и его школы. Задача любого организма – это достижение определенных результатов в целенаправленном поведении. Таким образом, через понятия «задача» и «цель» устанавливается концептуальный мост между понятием «задача» в математических теориях и теорией функциональных систем. Взаимная интерпретация этих теорий осуществляется в разделе 2. Формальной моделью работы мозга, вытекающей из этой интерпретации, является последовательность и иерархия «слабых» формальных систем.

Принцип опережающего отражения действительности и вероятностное прогнозирование как принцип предсказания [4, 9–10]. Сама возможность прогнозирования и предсказания следует из установленного П.К. Анохиным принципа опережающего отражения действительности: «сложилась одна универсальная закономерность в приспособлении организмов к внешним условиям, которая в дальнейшем бурно развивалась на протяжении всей эволюции живого мира: в высшей степени быстрое отражение медленно разворачивающихся событий внешнего мира» [4]. Алексей Кречмер предложил физическую интерпретацию принципа опережающего отражения действительности².

Принцип опережающего отражения действительности уточняется и проявляется в понятии «вероятностного прогнозирования», введенного Фейгенбергом [29, 30] и использованного П. В. Симоновым в информационной теории эмоций

² **Физическая модель прогноза.** Единственным объяснением феномена предвидения или прогноза, может быть только модель, в которой к интеллектуальному приемнику энергия приходит по каналам с разной скоростью. Доказательство данного тезиса строится из нескольких утверждений: (1) весь мир – это потоки энергий; (2) существует множество уровней в потоках энергии, которые обладают разной силой и скоростью (акустический и оптический и т.д.); (3) существует возможность унификации энергий из разных потоков по параметрам сила и время (рецепторы); (4) унифицированные сигналы могут изменять проводящую структуру образования (синапс Хебба). Доказательство достаточно просто. **Модель.** Потоки энергии от источников обладают разной скоростью, силой и уровнями (модальности). Эти потоки попадают на различные рецепторы, где они преобразуются в унифицированный сигнал. Поскольку от одних и тех же источников сигнал (раздражитель) приходит с разной скоростью и на разные рецепторы, то появляется возможность их унификации и построения картины закономерностей прихода разномодальных сигналов. Остается только запомнить эту динамическую картину. Но, согласно четвертому утверждению, при сочетании унифицированных сигналов, происходит изменение проводимости внутри интеллектуального образования, то есть изменение структуры. А это, в свою очередь, при повторном появлении набора таких сигналов вызывает ответную реакцию, которая выражается в подготовке к приему следующих сигналов. Отсюда, цель и результат «деятельности» есть интегрированная оценка состояния границы системы. И тогда феномен прогноза – это предсказание изменения границы системы, а его модель или физический смысл – сопоставление (сравнение, оценка) потоков энергии по разноразностным каналам.

[26]. В своей работе П. В. Симонов следующим образом подводит итог своих исследований: «Суммируя результаты собственных опытов и данные литературы, мы пришли...к выводу о том, что эмоция есть отражение мозгом человека и животных какой-либо актуальной **потребности** (её качества и величины) и **вероятности** (возможности) её удовлетворения...». Понятия вероятностного прогнозирования и вероятности являются главными в теории эмоций П. В. Симонова. На них построена вся теория, и в этом смысле они являются принципами этой теории.

Предсказание является термином философской логики. В [14, 41] показано, что введенное К. Поппером понятие предсказания не работает для индуктивно выведенных теорий в том числе для знаний (навыков), полученных в процессе обучения. В работах [14, 41] дается другая формализация предсказания, применимая к индуктивным теориям. Если понятие предсказания, сформулированное в [14, 41], проинтерпретировать в терминах вероятностного прогнозирования и вероятности информационной теории эмоций П. В. Симонова, то мы получим *концептуальный мост* (см. разделы 5-6) между формализацией предсказания и информационной теорией эмоций П. В. Симонова. Используя этот концептуальный мост, мы получим интерпретацию понятия предсказания не только в теории эмоций П. В. Симонова, но и, через принцип опережающего отражения действительности, в теории функциональных систем работы мозга П. К. Анохина.

В разделах 6-7 оба принципа целеполагания и предсказания синтезируются в один – ГЦО-принцип работы мозга (ГЦО – Главная Цель Организма). Он состоит в том, что главная движущая сила любого целенаправленного поведения – эмоции – двухпараметричны. Они зависят как от эмоциональной оценки достигаемого результата, так и от вероятностной оценки *возможности* достижения результата. Это отражено, например, в вышеприведенном высказывании П. В. Симонова, где первым параметром является эмоциональная оценка потребности, которая является внутренней постановкой цели организмом, а вторым параметром – вероятность её достижения.

Синтез двух принципов и его интерпретация в двух физиологических и двух математических теориях позволяет вывести новую формальную модель нейрона (раздел 8) и формальную модель работы мозга на нейронном уровне (разделы 9-10). Полученная модель позволяет объяснить практически все свойства теории функциональных систем П. К. Анохина (раздел 11).

2. Понятия задачи, цели и результата

Анализ понятия «задача» начинается в [19] с анализа понятия желания. Несмотря на то, что рассуждения в приводимой ниже цитате могут показаться слишком общими, математический результат, полученный в работах [19, 20], является непосредственной и точной формализацией приведенных ниже рассуждений.

««Я хочу пить» – что это значит? Нет, конечно, никакой ошибки полагать, что слова «я хочу пить» означают просто вот *это*, где *это* – определенное состояние сознания, которое я переживаю сейчас и которое я именую жаждой. Но тогда возникает новый вопрос: как

ощущение жажды (хотения) связано с фактическим питьем (удовлетворением хотения)? Откуда я знаю, что удовлетворить жажду можно питьем? Содержится ли в самом переживании жажды сознание того, чем эту жажду можно удовлетворить? Вполне вероятно, что ощущение жажды как-то включает в себя воображаемую картину питья. Но тогда каким образом воображаемое питье содержит информацию о фактическом питье? Ведь как бы сильно не походила воображаемая картина на факты, все равно в фактическом питье что-то должно быть такое, чего не доставало в воображаемом; и это отсутствующее в воображении нечто и есть в данном случае самое существенное. Иначе мы могли бы утолить жажду сразу – одним воображением... Возникает убеждение, что и вообще: удовлетворение любого желания – новость. Причем в чем-то самом существенном – абсолютная новость, эмпирический постфактум, который ни в коем случае не был дан заранее. А вместе с тем столь же несомненно, что, когда я хочу не просто чего-то «новенького вообще», а хочу чего-то определенного; что, следовательно, это «чего-то» каким-то образом предопределяется характером ощущения желания, не будучи данным мне до тех пор, пока я только хочу и еще не удовлетворил свое хотение... *Знать желание не означает знать желаемое, а означает знать способность узнать желаемое*, как только этому представится случай. Иными словами, вы понимаете какое-либо свое желание (а не просто «томитесь» им) только тогда, когда этому желанию вы сопоставили чувство уверенности в том, что любое будущее состояние сознания вы сумеете убедительным и безошибочным образом распознать как состояние удовлетворения желания или состояние неудовлетворения... Хотя (следует еще раз подчеркнуть) при этом я не обязательно знаю, *чем* это утоление будет достигнуто. По прошлому опыту ожидаю, что водой, но, быть может, какая-нибудь таблетка тоже утолит мою жажду» [19].

Полученный в [19] вывод о том, что «*знать желание не означает знать желаемое, а означает знать способность узнать желаемое*» позволяет сформулировать понятие задачи: «Любую задачу можно мыслить себе в терминах: «Я хочу знать...» ... Поэтому задача – частный случай желания и все сказанное о последнем относится также и к ней. А именно мы понимаем задачу только тогда, когда ей сопоставили обоснованное чувство уверенности в том, что всякое состояние нашего сознания мы сумеем убедительным и безошибочным образом распознать как такое, когда решение найдено, или как такое, когда решение не найдено» [Там же]. Заметим, что если последнее условие не выполнено, то задача не требует решения, так как тогда любое состояние сознания можно считать решением.

Предположим, что у нас есть некоторый текст. Представляет ли он собой «убедительное и безошибочное» изложение решения задачи? В математических теориях принято считать, что «обоснованное чувство уверенности» в том, что изложение решения задачи действительно является её решением, должно возникать только тогда, когда это изложение является доказательством решения задачи. Доказательство позволяет ввести формальный критерий наличия решения задачи для «распознавания, когда решение найдено или не найдено». Поэтому мы имеем *математическую задачу* только тогда, когда у нас есть обоснованное чувство уверенности в том, что всякое состояние нашего сознания мы сумеем убедительным и безошибочным образом распознать, как такое, когда мы имеем доказательство решения задачи или у нас отсутствует доказательство решения задачи. Предположим, что наши состояния сознания вместе с доказательствами можно формализовать в рамках некоторой формальной системы *S*. Зададимся вопросом: позволяет ли эта формальная система для любого текста

средствами самой формальной системы S определить, является ли он доказательством решения задачи или нет? Если такая формальная система существует, то это означает, что она может служить формальной моделью для постановок и решения математических задач. Этот вопрос и был формально проанализирован в [19]. Было доказано, что только в «слабых» формальных системах мы в состоянии средствами самой формальной системы всегда определить, является ли некоторый текст доказательством решения некоторой задачи или нет.

Понятие задачи позволило её авторам сформулировать новый подход к основаниям математики [19, 20], состоящий в радикальном изменении программы Гильберта обоснования математики. Опишем кратко, в чем, по мнению авторов, должен состоять пересмотр программы Гильберта: «Как известно, Гильберт считал, что, вообще говоря, не все высказывания какой-либо математической теории имеют смысл. При этом неявно он предполагал, что разбиение множества всех высказываний рассматриваемой теории на осмысленные («реальные») и бессмысленные («идеальные») вполне определяется видом самих высказываний и, следовательно, является фиксированным для всех теорий с одним и тем же синтаксисом и сигнатурой. *Согласно новой парадигме*, это разбиение на осмысленные и бессмысленные высказывания зависит не только от синтаксиса и сигнатуры рассматриваемой теории, но и от класса задач, с которым предназначается иметь дело этой теории. С этой точки зрения, одна и та же *теория как математическое исчисление* содержательно будет иметь разные множества осмысленных высказываний, если она предназначена для обработки разных классов задач. Иными словами, математическая теория рассматривается просто как «резервуар» для более «бедных» формальных систем, по отдельности «извлекаемых» из всей теории в зависимости от той или иной имеющейся задачи. Сама по себе, безотносительно к возможным задачам (и, следовательно, безотносительно к своей роли быть упомянутым «резервуаром»), теория не имеет практического значения, и поэтому не представляет самостоятельного интереса вопрос, противоречива она в целом или нет».

Но нас интересуют не только математические задачи. Рассмотрим ещё раз формулировку понятия задачи: «Мы понимаем *задачу* только тогда, когда ей сопоставили обоснованное чувство уверенности в том, что всякое состояние нашего сознания мы сумеем убедительным и безошибочным образом распознать как такое, когда решение найдено, или как такое, когда решение не найдено». Переформулируем понятие задачи так, чтобы не апеллировать к состояниям сознания. Будем говорить, *что задача осмысленна* тогда и только тогда, когда мы имеем *критерий решённости задачи*, в том смысле, что для каждого предполагаемого решения мы в состоянии, применяя критерий, определить, является ли оно решением или нет. Для математических задач таким критерием является возможность для любого текста определить: является ли он доказательством решения задачи или нет (это условие намного сильнее, чем просто предъявление доказательства).

После такой переформулировки, имеющей и самостоятельный интерес, уже нетрудно найти обобщение, связывающее его с работой мозга. Можно заметить, что обобщением понятия задачи, является понятие цели. *Цель нельзя достичь, не имея критерия ее достижения*, иначе всегда можно считать, что она уже достигнута. Хотеть чего-то – частный случай цели. Целью является удовлетворение моего желания. Как мы увидим из теории функциональных систем, каждая потребность организма ставит перед ним цель – удовлетворить данную по-

требность, при этом критерий достижения цели фиксируется соответствующим рецепторным аппаратом.

Определим *цель* через критерий её достижения. Мы ставим перед собой цель, когда определили критерий её достижения и убедились путем применения критерия, что цель ещё не достигнута. Такое определение цели позволяет определить *результат* достижения цели (решения задачи) как то, что удовлетворит критерий («акцептор результата») её достижения, когда цель будет достигнута или задача решена. Между понятиями цели (задачи) и результата имеется следующая связь: результат получен, когда цель достигнута и «срабатывает» критерий достижения цели. Но когда цель (задача) ставится и она еще не достигнута, мы имеем цель (задачу), но не имеем результата. Далее понятия цели и задачи, стоящей перед организмом, будут пониматься как синонимы. Их различное употребление будет связано только с тем, что они часто ассоциируются с разными словами.

Определение цели *парадоксально* с точки зрения здравого смысла, так как критерий достижения цели принципиально не требует никаких дополнительных знаний о том, как её достичь. В частности, *можно определить цель, не определяя, ни как её достичь, ни чем, ни когда*. Эту парадоксальность понятия цели назовем *парадоксом цели*. Как мы увидим из теории функциональных систем, мозг при целенаправленном поведении постоянно действует в условиях парадокса цели, определяя, чем, как и когда можно достичь цели, часто не зная этого заранее, а зная только параметры конечного результата.

Изложим далее теорию функциональных систем, показывая, во-первых, что понятие цели в нашем смысле лучше объединяет такие понятия как потребность, результат и цель и, во-вторых, объясняя, как мозг разрешает парадокс цели, определяя чем, как и когда можно достичь цели.

3. Теория функциональных систем работы мозга

Понятие цели является центральным в теории функциональных систем, где анализируется физиологический механизм цели, целеполагания и целенаправленной деятельности. Решение сложных задач осуществляется мозгом, согласно теории функциональных систем (ТФС), путем организации «доминирования целей», «иерархии результатов (целей)» и «моделей результатов». Будем выделять цитаты П. К. Анохина или других авторов, внутри цитат из [28] символом «#».

«Наиболее значительным, по нашему мнению, моментом (в истории развития понятия функциональной системы. – Е.Е.) является формирование понятия “*результат действия*” (в 1966 г.). П. К. Анохин теперь уже пишет о результатах действия как о самостоятельной физиологической категории» [28; с. 27].

Заметим, что именно так понимаемый результат действия является признаком достижения цели – схватить предмет, а критерием достижения цели является «*совокупность афферентных раздражений, соответствующая признакам схваченного предмета*» [28; с. 28]. Следовательно, понятие результата действия физиологически фиксирует критерий достижения цели и тем самым критерий решения организмом некоторой задачи. Драматическая ситуация в изучении мозга, о которой

пишет П. К. Анохин, продолжается до сих пор, так как никакая другая теория, кроме теории функциональных систем, не исследует механизмы достижения результата. Тот факт, что все исследователи фиксируют внимание на самом действии, а не на его результатах, ещё раз говорит о парадоксальности понятий задачи и цели для здравого смысла. Заметим также, что под действием нужно понимать любое действие, в том числе перцептивное (движения глаз, настройку хрусталика и т. д.), т. е. любые действия, которые инициируются активностью мозга.

Кратко изложим теорию функциональных систем по монографии [28], в которой подводятся итоги работ П. К. Анохина и его школы. Прежде всего, рассмотрим каковы физиологические механизмы постановок целей организмом. Здесь наблюдается любопытная аналогия между физиологическими механизмами и математическим результатом, полученным в [19]. Как отмечено в работе [Там же] «математическая теория рассматривается просто как «резервуар» для более «бедных» формальных систем, по отдельности «извлекаемых» из всей теории в зависимости от той или иной имеющейся задачи. Сама по себе, безотносительно к возможным задачам (и, следовательно, безотносительно к своей роли быть упомянутым «резервуаром»), теория не имеет практического значения». В Теории Функциональных Систем (ТФС) «формальными системами» являются функциональные системы организма, формирующиеся для решения каждой стоящей перед организмом «математической теорией» задачи. Понятие функциональной системы является основным в ТФС, поэтому перейдем к его рассмотрению.

«# Функциональной системой мы называем комплекс нервных образований с соответствующими им периферическими рабочими органами, объединенный на основе выполнения какой-либо вполне очерченной и специфической функции организма. К таким очерченным функциям можно отнести, например, локомоцию, дыхание, глотание, плавание и т. д. # И далее: # 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 #» [28; с. 19].

Таким образом, единицами деятельности организма являются не отдельные органы, а функции организма. Выполнение какой-либо функции организма и есть задача деятельности организма. Поэтому теория функциональных систем является теорией решения организмом задач по выполнению своих функций.

Как мы знаем, задача (цель) осмысленна, если у нас есть критерий решения задачи. Функции организма также должны приводить к достижению тех целей, которые должны фиксироваться как полученный результат. Понятие результата является одним из основных понятий ТФС. «Основным постулатом теории функциональных систем является положение о том, что ведущим системообразующим фактором, организующим функциональную систему любого уровня организма, служит полезный для организма и системы в целом приспособительный результат. Именно результат благодаря постоянной обратной афферентации о его состоянии производит своеобразную «мобилизацию» центральных и исполнительных образований в функциональную систему» [28; с. 34–35].

Таким образом, единицы деятельности организма – функциональные системы – являются объединениями различных органов с целью достижения некото-

рых полезных для организма результатов и тем самым определяются этими результатами.

Достижение результата должно некоторым образом фиксироваться, так как результат есть срабатывание некоторого критерия достижения цели. Чем физиологически является критерий достижения цели? Физиологически он реализуется «специальным рецепторным аппаратом». «Каждая потребность, даже при незначительном отклонении жизненно важной функции от оптимального для метаболизма уровня (в чем, собственно, и состоит потребность. – *E.E.*), немедленно воспринимается специальными рецепторными аппаратами» [28; с. 43]. «Наличие рецепторов в каждой функциональной системе, «стоящих на страже» конечного приспособительного результата, является исходным пунктом в механизмах саморегуляции. Меньшее отклонение результата (физиологической константы организма – *E.E.*) от оптимального для метаболизма уровня вызывает меньшее возбуждение рецепторов и, соответственно, меньшую сигнализацию в нервную систему» [28; с. 43]. «Соотношение функций рецепторов с приспособительным результатом – это основной «узел саморегуляции». Соотношение между конечным результатом и рецептором напоминает тип комплементарных связей» [Там же; с. 44].

Таким образом, результатом и критерием его достижения является достижение оптимального уровня некоторой физиологической константы, который фиксируется специальным рецепторным аппаратом. Сигнализация этого рецепторного аппарата о получении результата (отсутствия отклонения от оптимального для метаболизма уровня) и означает достижение цели. Эта сигнализация называется обратной афферентацией, а процесс решения задачи принципом саморегуляции.

«...Сигнализация о потребности (возбуждение рецепторного аппарата при отклонении жизненно важной функции от оптимального для метаболизма уровня – *E.E.*) несет двоякую функцию. С одной стороны, она играет пусковую роль, возбуждая специальные аппараты саморегуляции, а с другой, она постоянно информирует эти же центры о результатах действий, совершенных функциональной системой. Поскольку эта сигнализация включает в себе информацию о конечном результате и о его отклонениях от оптимального для метаболизма уровня или (его. – *E.E.*) восстановлении ... она была названа обратной афферентацией» [Там же; с. 45]. «Любая функциональная система различного уровня организации строится по принципу саморегуляции...» [Там же; с. 37]. «Процесс саморегуляции всегда циклический и осуществляется по золотому правилу: всякое отклонение от жизненно важного уровня какого-либо физиологически значимого фактора служит сигналом к немедленной мобилизации многочисленных аппаратов соответствующей функциональной системы, вновь восстанавливающих этот жизненно важный приспособительный результат» [Там же; с. 37].

Принцип саморегуляции здесь более детально не определяется и, по существу, просто описывает постановку цели и ее достижение. Он не отвечает на вопросы, связанные с парадоксальностью цели: чем, как и когда можно достигнуть цели.

Теперь мы можем объяснить в рамках ТФС, как физиологически осуществляется постановка задач и целей организмом. Целью в ТФС является потребность организма. «Двоякая функция потребности» означает, что, во-первых, перед организмом ставится цель по восстановлению нарушенного метаболизма и, во-вторых, энергетически обеспечивается достижение цели путем возбужде-

ния механизмов саморегуляции. Критерием достижения цели является получение обратной афферентации о восстановлении нормального уровня некоторого физиологически важного показателя. Если же нормальный уровень нарушен и обратная афферентация свидетельствует о неудовлетворенности критерия достижения цели, то возникает *потребность*, которая ставит перед организмом цель – удовлетворить соответствующую потребность. В этом случае цель и соответствующий критерий достижения цели:

- сигнализируют посредством обратной афферентации о не достижении цели (об отсутствии нормального уровня некоторого показателя, что собственно и означает наличие потребности);
- ставит цель, как ожидание получения сигнализации о восстановлении нормального уровня некоторого показателя и достижения результата;
- энергетически обеспечивают и фактически вынуждают организм достичь цели, возбуждая специальные аппараты саморегуляции.

Таким образом, *физиологическим механизмом целеполагания является возникновение потребности*. Таким образом, *потребность и есть цель*, которая ставится перед организмом. В ТФС понятия потребности и результата являются разными и не совсем связанными понятиями. В нашем определении потребности, как цели организма, понятия потребности и результата объединяются в одно понятие и результат всего лишь фиксация достижения цели – удовлетворения потребности.

Мы проинтерпретировали понятия цели в системе понятий ТФС. Теперь мы можем, используя многочисленные результаты ТФС, обогатить понятие цели, рассмотрев, *как организм удовлетворяет свои потребности*. Например, как взаимосвязаны между собой цели и результаты различных функциональных систем в процессе жизнедеятельности целого организма.

Как уже отмечалось, взаимодействие результатов и целей в ТФС осуществляется несколькими способами: по «принципу доминанты», «иерархией результатов» и «моделями результатов». Рассмотрим эти типы организации целей. Заметим, что такое рассмотрение не требует от нас разрешения парадокса цели и ответа на вопросы, как, чем и когда достигается цель. Эти рассуждения, как это и делается в ТФС, могут ограничиться рассмотрением целей на уровне вход-выход, цель-результат или потребность – её удовлетворение).

Рассмотрим сначала «принцип доминанты». Этот принцип говорит о том, что две цели одновременно достигаться не могут, и это вполне естественно, так как разные цели имеют разные результаты и, значит, разные критерии срабатывания. «Поскольку метаболизм организма всегда многосторонен, общая метаболическая потребность организма часто многопараметрична, отражая тем самым различные стороны процесса обмена веществ... Однако всегда имеется ведущий параметр общей метаболической потребности – доминирующая потребность, наиболее важная для выживания особи, её рода или вида. Она возбуждает доминирующую функциональную систему и строит поведенческий акт, направленный на её удовлетворение. Удовлетворение ведущей потребности приводит к тому, что начинает доминировать другая важная для сохранения вида или рода потребность» [28; с. 40].

Тем самым наиболее важные для организма цели – доминирующие потребности всегда линейно упорядочены во времени. Рассмотрим, как функциональные системы взаимодействуют в некоторый данный момент времени. По отно-

шению к доминирующей функциональной системе остальные функциональные системы выстраиваются в иерархию по принципу «иерархии результатов»: «...По отношению к каждой доминирующей функциональной системе все другие функциональные системы выстраиваются в определенном иерархическом порядке, начиная от молекулярного, вплоть до организменного и социально-общественного уровня. Иерархия функциональных систем ... прежде всего, включает иерархическое взаимодействие результатов их действия, когда результат деятельности одной функциональной системы входит в качестве компонента в результат деятельности другой» [28; с. 54]. «Так, у голодного кролика доминирует функциональная система, деятельность которой направлена на поиск пищи. В это время другие функциональные системы, определяющие, например, кровяное давление, дыхание, выделение, направлены на лучшее обеспечение доминирующей пищедобывательной функциональной системы» [Там же; с. 54].

Рассмотрим подробнее, что представляет собой иерархия результатов. Например, если у кролика доминирует функциональная система добывания пищи, то целью является пища, а результатом – её поедание. В процессе деятельности этой функциональной системы усиленно расходуется кислород, уменьшается содержание питательных веществ в крови, увеличивается количество вредных веществ, получающихся в процессе обмена и требующих вывода из организма. Все это приводит к сдвигу от нормального уровня целого ряда физиологических констант организма, что фиксируется рецепторами обратной афферентации целого ряда других функциональных систем. Это автоматически «включает» эти функциональные системы, целью которых является обеспечение нормального уровня этих физиологических констант и результатами которых является достижение соответствующего нормального уровня. Так доминирующая потребность в виде цели – добыть пищу активирует функциональные системы, целью которых является обеспечение нормального уровня, участвующих в достижении первой цели физиологических показателей.

Одновременно работающие функциональные системы одного уровня иерархии могут взаимодействовать друг с другом. «Для удержания полезного приспособительного результата на оптимальном для организма уровне ... каждая функциональная система объединяет специальные периферические исполнительные аппараты... При этом нередко разные функциональные системы для достижения различных приспособительных результатов могут использовать одни и те же внутренние органы. Так, работа сердца может быть использована как для поддержания постоянного уровня кровяного давления, так и для обеспечения газообмена и т. д.» [Там же, с. 46, 47]. «В отличие от рецепторов результата, которые, как указывалось выше, обладают подчеркнутой специфичностью и консервативностью, другие элементы функциональных систем пластичны и могут гибко заменять друг друга. Внутри каждой функциональной системы для достижения полезного приспособительного результата имеются широкие возможности чрезвычайной взаимозаменяемости, взаимокompенсации. При выходе из строя одного или нескольких компонентов функциональной системы обеспечение ее конечного приспособительного результата может осуществляться другими ее компонентами» [Там же; с. 48].

Пластичность функциональных систем ещё раз подчеркивает важность понятия цели, так как главное – достижение цели и получение результата, а каким образом он будет достигнут, это уже дело второстепенное.

4. Целенаправленная деятельность и парадокс цели в ТФС

Функциональные системы можно условно разбить на две группы: требующие обращения к внешней среде для достижения результата и не требующие такого обращения. К первым относятся пищеводобывательная функциональная система, активируемая голодом, функциональная система жажды, половая и т. д., ко вторым относятся функциональные системы пищеварения, выделения, кровяного давления и т. д. Понятно, что «**результаты поведенческой деятельности, направленные на удовлетворение внутренних потребностей организма, могут рассматриваться как «подрезультаты» функциональных систем, обеспечивающих основные жизненно важные внутренние метаболические показатели**» [28; с. 53]. Тем самым целенаправленная деятельность может рассматриваться как составная часть функциональных систем второго типа. Принципиальная разница между двумя типами функциональных систем с точки зрения понятия цели состоит в том, что для функциональных систем второго типа (дыхания, давления, выделения) мы можем предполагать существование генетических механизмов достижения цели и результата, а для систем первого типа мы этого предполагать уже не можем.

Разрешение парадокса цели и определение чем, как и когда достичь цели, для функциональных систем второго типа определяется генетически и к объяснению работы таких функциональных систем нам нечего добавить, кроме того, что было сказано в предыдущем параграфе. А для функциональных систем первого типа, имеющих дело со сложной внешней средой, требующей обучения, необходимо ответить на главный вопрос: как мозг разрешает парадокс цели и как он определяет чем, как и когда можно достичь цели. Для этого в ТФС вводится целая серия новых понятий, объясняющих организацию целенаправленного поведения.

Более точно различие между функциональными системами первого и второго типа можно проиллюстрировать на следующем примере достижения цели в случае отсутствия опыта. «**Возникшее на основе той или иной биологической потребности поведение новорожденного животного строится в полном смысле слова методом «проб и ошибок».** Поражает направленный поиск новорожденными специальных раздражителей внешней среды, с которыми они практически никогда не встречались. Следовательно, они должны иметь врожденные модели, в которых запрограммированы свойства удовлетворяющих их потребности раздражителей с которыми осуществляется постоянное сравнение достигнутых результатов» [Там же; с. 74]. «...непосредственно после рождения первой целенаправленной деятельностью лосенка является освоение вертикальной позы, затем движение в сторону матери, поиск соска, сосание и, наконец, реакция следования» [Там же; с. 85]. Поэтому сразу после рождения целенаправленное поведение также строится с использованием генетически заложенных форм поведения. Но генетически определяется только требуемая последовательность результатов и некоторый максимально общий способ поведения типа «метода проб и ошибок». Совершенствование и развитие деятельности уже происходит в процессе обучения.

«Согласно П. К. Анохину, центральные механизмы функциональных систем, обеспечивающих целенаправленные поведенческие акты, имеют однотипную архитектуру» [Там же; с. 73]. Опишем эту архитектуру.

Афферентный синтез. Начальную стадию поведенческого акта любой степени сложности составляет афферентный синтез, включающий в себя синтез мотивационного возбуждения, памяти, обстановочной и пусковой афферентации.

Мотивационное возбуждение. Как мы знаем, постановка цели осуществляется возникшей потребностью. Но в случае целенаправленного поведения она трансформируется в мотивационное возбуждение. «Ведущим возбуждением, ... определяющим целенаправленную деятельность даже животных, является мотивационное возбуждение, формирующееся на основе ведущей (доминирующей. – Е.Е.) внутренней потребности» [Там же; с. 73]. «Доминирующая потребность всегда воспринимается комплексом специфических рецепторов, расположенных как на периферии, так и непосредственно в центральной нервной системе. С их участием появляется ответственный момент формирования целенаправленного поведения – процесс трансформации внутренней потребности в соответствующее возбуждение мозга. Так возникает *доминирующая мотивация*. Последняя всегда сопровождается специфическим *эмоциональным ощущением* (отрицательной эмоцией – Е.Е.). Иными словами, в процессе формирования мотивационного возбуждения материальная метаболическая потребность трансформируется в процесс возбуждения мозговых структур» [Там же; с. 113].

Но мотивационное возбуждение не есть возбуждение рецепторов потребности, стоящих «на страже» некоторой физиологической константы – это возбуждение «центральных мозговых структур», инициируемое возникшей потребностью. Проанализируем, зачем такое преобразование нужно.

В случае цели как потребности результатом является восстановление нормального уровня физиологически важного показателя и снятие возбуждения соответствующих рецепторов. В случае целенаправленного поведения результатом является возбуждение специальных рецепторов, сигнализирующих достижение результата (подкрепление). Например, в пищедобывательной функциональной системе рецепторами результата (подкреплением) являются рецепторы языка, фиксирующие получение пищи. Подкрепляющие раздражители, кроме того, снимают мотивационное возбуждение и тормозят возбуждение рецепторов потребности и тем самым фактически приводят к достижению результата в смысле снятия возбуждения. При этом сама потребность может быть ещё не снята, например, питательные вещества ещё не попали в кровь и отклонение физиологических констант, ответственных за наличие питательных веществ в крови, остается прежним. Какие рецепторы являются подкрепляющими для той или иной функциональной системы определяется генетически. Возникает вопрос: как связаны между собой мотивационное возбуждение и обратная афферентация о достигнутом результате: ведь они должны быть «комплементарны» и удовлетворять определению цели?

Объясним на примере пищедобывательной функциональной системы, почему потребность трансформируется в мотивационное возбуждение и подкрепляющую обратную афферентацию. После попадания пищи в рот, процесс её переваривания дальше определяется пищеварительной функциональной подсистемой, которая формируется генетически. Поэтому в целом пищедобывательная функциональная система разбивается на две части: функциональную систему добывания пищи путем целенаправленного поведения и на пищеварительную. Целью и результатом пищеварительной функциональной системы яв-

ляется удовлетворение потребности в питательных веществах. Но для достижения этой цели надо сначала положить пищу в рот, поэтому пищедобывательная функциональная система своими генетически определенными механизмами формирует подцель для целенаправленного поведения: добыть пищу и положить ее в рот. Эта цель достигается функциональной подсистемой добывания пищи, которая формируется путем «выноса» потребности в ЦНС в виде мотивационного возбуждения голода и специальных рецепторов языка, фиксирующих достижение результата при попадании пищи в рот. Такой «вынос» необходим, так как целенаправленное поведение может быть организовано только всей ЦНС. Хотя цель (мотивационное возбуждение) и результат (подкрепление) теперь уже обеспечиваются разными рецепторными аппаратами, тем не менее, они находятся в «комплементарном» взаимоотношении и удовлетворяют определению цели, включающем критерий достижения цели. Неудовлетворенность критерия достижения цели – отсутствие пищи во рту, ставит цель в виде мотивационного возбуждения голода. Достижение же результата, при попадании пищи в рот фиксируется возбуждением рецепторов языка. Полученный результат снимает мотивационное возбуждение и тормозит рецепторы потребности, что и означает, что цель достигнута. Поэтому *мотивационное возбуждение и есть цель, ставящаяся перед организмом в случае целенаправленного поведения.*

Как и для потребностей, мотивационное возбуждение не только ставит цель, но и энергетически обеспечивает достижение цели. *«Отрицательная эмоция, сопровождающая мотивацию, имеет важное биологическое значение. Она мобилизует усилия животного на удовлетворение возникшей потребности. Сопровождающие мотивационное возбуждение отрицательные эмоциональные ощущения способствуют более быстрому нахождению животным подкрепляющего агента».* [28; с. 91].

Но энергетическим воздействием обладают не только отрицательные эмоции, но и положительные. При целенаправленной деятельности достижение результата и действие подкрепляющего стимула субъективно ощущается появлением положительной эмоции. *«Удовлетворение потребности (действие подкрепляющего раздражителя на организм сигнализирующего о достижении результата. – Е.Е.) ... всегда связано с положительными эмоциональными переживаниями»* [Там же; с. 91]. Но положительные эмоции играют не только эту роль. При целенаправленном поведении, для которого, как правило, нет генетически определенных форм поведения и надо обучиться достигать результат, необходимо запоминать ту последовательность возбуждений, которая привела к достижению результата. Поэтому, положительные эмоции имеют ещё и подкрепляющую (санкционирующую) функцию. *«Биологическое значение положительной эмоции при удовлетворении потребностей понятно, поскольку они как бы санкционируют успех поиска. Однако этим такое значение не ограничивается. Последовательности действий и вызванные ими положительные эмоции, фиксируются в памяти и впоследствии как своеобразные «представления» о будущем результате появляются всякий раз при возникновении соответствующей потребности. Обученный неоднократным удовлетворением своих потребностей организм впоследствии стимулируется к целенаправленной деятельности не только отрицательной эмоцией мотивационного состояния, но и представлением о той положительной эмоции, которая связана с возможным будущим подкреплением»* [Там же; с. 91,92]. Поэтому, если мы знаем, как достичь цель, например, «утолить жажду можно водой», и знаем, как это сделать, то достижение цели будет обеспечиваться не только воз-

действием мотивационного возбуждения, но и энергетическим влиянием от предвосхищения положительной эмоции «аппетитом». Таким образом, достижение цели будет обеспечиваться сразу двумя эмоциональными воздействиями – положительным и отрицательным, так сказать, «кнутом и пряником».

Память – второй компонент афферентного синтеза. Как уже отмечалось, при действии подкрепляющего раздражителя, означающего факт достижения цели, закрепляется та последовательность действий, которая привела к достижению цели. При подкреплении фиксируется вся последовательность возбуждений, приведшая к цели, начиная с мотивационного возбуждения. Поэтому возникновение мотивационного возбуждения достаточно для «извлечения из памяти» всех предыдущих последовательностей действий, приведших к достижению результата и подкреплению. Мотивационное возбуждение обладает, кроме того, химической специфичностью, позволяющей «извлекать из памяти» все пути достижения той цели, которая ставилась данным мотивационным возбуждением. «Каждая мотивация строится специфическими по своему химическому метаболизму восходящими активирующими влияниями соответствующих подкорковых центров на кору головного мозга. А это в свою очередь приводит к тому, что с помощью мотивационных влияний животные производят активный отбор только специальных раздражителей внешнего мира для удовлетворения своих доминирующих потребностей» [3; с. 79, 80].

Обстановочная афферентация. При достижении цели фиксируется и та обстановка, в которой удалось получить результат. Эта обстановка фиксируется как необходимые условия наряду с мотивацией, требуемые для достижения результата. Поэтому мотивационное возбуждение в данной обстановке «извлекает из памяти» только те способы достижения цели, которые возможны в данной обстановке. Таким образом, обстановочная афферентация при взаимодействии с извлеченным из памяти опытом определяет, *что и как* можно сделать в данной обстановке для достижения цели.

Пусковая афферентация. Четвертым компонентом афферентного синтеза является пусковая афферентация. По смыслу она также является обстановочной афферентацией, только связанной не со стимулами обстановки, а со временем и местом достижения результата. «...специальные раздражители вскрывают сформированную на основе взаимодействия мотивационного, обстановочного возбуждения и механизмов памяти так называемую предпусковую интеграцию. Эти пусковые раздражители приурочивают, таким образом, целенаправленную деятельность к определенному месту и времени» [Там же; с. 75]. Поэтому пусковая афферентация отвечает на вопрос: **когда** можно достичь результат.

«Итак, на стадии афферентного синтеза решается несколько вопросов: *что* (можно. – *Е.Е.*) *делать* (на основе сопоставления внешних и внутренних раздражителей), *как* *делать* (на основе памяти) и *когда* *делать* (на основе действия пусковых раздражителей)» [Там же; с. 80]. Таким образом, на стадии афферентного синтеза в значительной степени разрешается парадокс цели и определяется, *что, как и когда* можно делать для достижения цели. Таким образом, мотивационное возбуждение как цель с учетом имеющегося опыта и обстановки сама автоматически разрешает парадокс цели и определяет, чем, как и когда её достичь. «Вытягивая» из памяти весь накопленный опыт, мотивационное возбуждение как цель преобразуется в

конкретную цель, определяющую способ своего достижения. Конкретная цель называется в ТФС «высшей мотивацией».

Принятие решения. На стадии афферентного синтеза мотивационным возбуждением может быть извлечено из памяти (в данной обстановке) несколько способов достижения цели. На стадии принятия решения выбирается только один из этих способов – конкретный *план действий*. «В соответствии с исходной потребностью на стадии принятия решения избирается только одна конкретная линия поведения» [28; с. 80].

Как происходит принятие решения в теории функциональных систем, до конца не разработано. И это не случайно, так как принятие решения очень тонкий процесс и должно учитывать:

- надежность опыта и возможность его применимости в данной ситуации (вероятностное прогнозирование, оцениваемое эмоциями);
- суммарные энергетические затраты того или иного способа достижения цели с учетом информационной определенности возможности достижения цели (переключающая функция эмоций, основанная на вероятностном прогнозировании);
- извлечение из памяти большего опыта, включая доминантные (генетически определенные) формы поведения в случае недостаточного опыта, дефицита информации или при сильных отрицательных эмоциях (компенсаторная функция эмоций).

Учет этих условий будет осуществлён, используя Информационную теорию эмоций П.В. Симонова.

Акцептор результатов действия. Пусть выбран некоторый план действий. Он ещё не гарантирует, что конечный результат обязательно будет достигнут. И даже не гарантирует, что любой из промежуточных результатов действий также будет достигнут. Конечный результат может быть достигнут только, если каждый из промежуточных результатов плана действий будет достигнут. Мотивационное возбуждение «извлекает из памяти» также всю последовательность и иерархию результатов, которые должны быть получены для выполнения плана действий. Эта последовательность и иерархия результатов называется в ТФС *акцептором результатов действия*. «Именно доминирующая мотивация «вытягивает» (посредством памяти. – Е.Е.) в аппарате акцептора результатов действия весь накопленный опыт до конечного, удовлетворяющего лежащую в ее основе потребность результата, создавая *определенную модель или программу поведения* (на основе уже принятого решения. – Е.Е.). С этих позиций модель акцептора результатов действия представляет собой доминирующую потребность организма, трансформированную в форме опережающего возбуждения мозга, как бы в своеобразный *комплексный «рецептор» соответствующего подкрепления*» [28; с. 82]. «...следует отметить, что в акцепторе результатов действия программируется не только континуум результатов поведения, но и вся мозаика действий, направленных на достижение каждого результата» [Там же; с. 84].

Таким образом, мотивационное возбуждение, преобразуясь в конкретную цель, извлекает из памяти также и *конкретный критерий достижения* этой *конкретной цели*, которым является вся совокупность критериев по достижению всей последовательности и иерархии результатов, которые должны быть получены в процессе достижения конкретной цели и выполнения плана действий,

т. е. *акцептор результатов действия*. Поэтому акцептор результатов действия и есть критерий достижения конкретной цели. «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*» [Там же; с. 81]. «Итак, формирование предвидения будущего результата в функциональных системах – акцептора результатов действия – представляет собой *физиологический аппарат формирования цели*» [Там же; с. 87].

Определение П. К. Анохиным аппарата акцептора результатов действия как физиологического аппарата формирования цели и наше определение конкретного критерия достижения цели несколько отличаются. Под целью П. К. Анохин понимает не только сам результат и «всю мозаику действий», но и его предвидение. Предвидение здесь может пониматься в двух смыслах: во-первых, как ожидание достижения результата (соответствующей обратной афферентации) и, во-вторых, как предсказание получения конечного результата, основанного на «принципе опережающего отражения действительности». На самом деле оба этих смысла объединены в понятии предвидения – это и ожидание результата, и его предсказание. В нашем определении конкретного критерия достижения цели, понятия предсказания нет. При описании целенаправленной деятельности понятие предвидения фактически не используется: «...На пути к удовлетворению ведущей потребности организм встречает и активно исследует многочисленные раздражители. Каждый из таких раздражителей своими физическими, химическими, биологическими и другими параметрами действует на соответствующие органы чувств животного и вызывает у него комплекс афферентных возбуждений. Эта сигнализация снова выступает в роли «обратной афферентации», поскольку она все время сравнивается с «заготовленными» свойствами акцептора результатов действия. Если комплекс афферентных возбуждений от параметров внешнего раздражителя не соответствует закодированным в определенной форме нервного возбуждения параметрам акцептора результатов действия, поисковое действие животного во внешней среде продолжается. Оно прекращается только в том случае, если параметры результата действия, поступающие в центральную нервную систему в форме соответствующей обратной афферентации, будут полностью соответствовать свойствам акцептора результатов действия. Только в этом случае организм прекращает поиск и может переключаться на другую деятельность» [28; с. 89]. Конкретный критерий достижения цели мы также будем называть акцептором результатов действия.

Преобразование в результате обучения и получения опыта мотивационного возбуждения, как цели в конкретную цель с конкретным критерием достижения цели (акцептором результатов действия), а подкрепления как результата в конкретный результат, преобразует парадоксальную цель (для которой не определено как, чем и когда достигать цель) в «не парадоксальную» конкретную цель. Но парадоксальность определения цели этим полностью не снимается. Даже если мы знаем по прошлому опыту, что конкретная цель достигается такой-то последовательностью действий, то у нас нет (и в принципе быть не может) никакой гарантии, что и в этот раз данное действие приведет к тому же результату. Поэтому, даже в случае наличия опыта, понятие конкретной цели сохраняет значение критерия достижения цели и не может быть заменено на просто по-

следовательность действий. Приведет ли некоторая последовательность действий к результату или не приведет, все равно это должно быть проверено некоторым критерием.

Эффекторные механизмы функциональных систем. Как выполняется план действий? Так как реальная ситуация всегда чем-то отличается от тех ситуаций, которые были извлечены из памяти и учтены в процессе принятия решений как наиболее адекватные данной ситуации, то неизбежно могут возникать «рассогласования» между ожидаемыми результатами в конкретном критерии достижения цели и реально поступающей обратной афферентацией о результатах совершенных действий. «Оценка результата действия происходит с помощью активной ориентировочно-исследовательской деятельности и эмоциональных ощущений. Ориентировочно-исследовательская реакция возникает и усиливается во всех случаях, когда результат совершенного действия неожиданно не соответствует свойствам сформированного на основе афферентного синтеза акцептора результатов действия, т. е. при возникновении «рассогласования» в поведенческой деятельности. Благодаря включению такой реакции немедленно перестраивается афферентный синтез, принимается новое решение, строится новая программа действия и поиск продолжается в новом направлении до тех пор, пока результаты совершенного действия не совпадут полностью или в значительной степени со свойствами акцептора результатов действия» [Там же; с. 90, 91].

Таким образом, что при рассогласовании поступающей «обратной афферентации» с афферентацией, ожидаемой акцептором результатов действия, происходит перестройка афферентного синтеза и принимается новое решение, что означает формирование новой конкретной цели (хотя мотивационное возбуждение и соответствующая конечная цель остаются теми же самыми).

«Целенаправленный поведенческий акт ... заканчивается последней санкционирующей стадией. На этой стадии при действии раздражителя, удовлетворяющего ведущую потребность, – подкрепления в общепринятом смысле – параметры достигнутого результата через раздражения соответствующих рецепторов...вызывают потоки обратной афферентации, которая по всем своим свойствам соответствует ранее запрограммированным свойствам подкрепляющего раздражителя в акцепторе результатов действия. При этом удовлетворяется ведущая потребность и поведенческий акт заканчивается» [Там же; с. 89, 90].

При подкреплении каждый раз фиксируется «след» всех возбуждений, приведших к достижению результата, и тем самым реализованный план действий «заносится» в память.

Ориентировочно-исследовательская реакция. Как происходит обогащение акцептора результатов действия и увеличение числа промежуточных результатов в процессе обучения и совершенствования целенаправленной деятельности? При постановке любой цели, фиксируется только её конечный результат. Сама цель, как мы знаем, ничего не говорит о том, чем, как и когда её можно достичь. Как же тогда можно обучиться тому, что для достижения некоторой цели необходимо достичь ещё некоторые промежуточные цели? Из определения самой цели процесс разбиения её на подцели никак не следует. Организм решает эту задачу созданием специальной, генетически определенной исследовательской деятельности организма, называемой ориентировочно-исследовательской реакцией. Эта реакция, как показано в работе [5], является

целостной деятельностью организма и специфической функциональной системой, имеющей свой собственный результат. Рассмотрим, как происходит обогащение акцептора результатов действия с её помощью.

Во-первых, ориентировочно-исследовательская реакция стремится к тому, чтобы все окружающие животное 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...» [Там же; с. 124]. Заметим, что исследуются не только раздражители внешней среды, но и возможности самого организма. Например, в играх дети собственными активными действиями по методу “проб и ошибок” обследуют возможности всего двигательного аппарата, органов восприятия и всего организма.

Во-вторых, все обследованные раздражители и последствия собственных действий «связываются» по типу условного рефлекса с конечным результатом. Проиллюстрируем процесс связывания на классическом примере выработки условного рефлекса. «Пусть *a* будет избранный нами условный сигнал, скажем звонок, тогда *b*, *c* и *d* соответственно будут стуком кормушки, видом хлеба и действием хлеба на вкусовые рецепторы языка (безусловный раздражитель)... Первоначально каждый из последовательно действующих раздражителей, связывающих непрерывной цепью сигнал с кормлением, вызывает специфическую ориентировочно-исследовательскую реакцию... Но уже после нескольких сочетаний сигнала (следовательно, и этой цепи раздражений) с кормлением происходит постепенное объединение их возбуждений в коре головного мозга в одну непрерывную линию *a-d*. В результате такой связи достаточно подействовать раздражителю *a*, как процесс возбуждения немедленно распространится до последнего звена – *d*, что и вызывает условную секрецию ... Специальное внимание следует обратить на тот факт, что в конечной фазе выработки рефлекса все ориентировочно-исследовательские реакции, возникавшие на промежуточных этапах... устраняются (угасают) и процесс условного возбуждения беспрепятственно распространяется до конечного звена – *d* («корковое представительство безусловного подкрепления»)» [5; с. 348]. «...Связывание их (раздражителей *a-d*. – *Е.Е.*) и есть функция (и результат. – *Е.Е.*) ориентировочно-исследовательской реакции» [Там же; с. 349].

Многообразные раздражители, воспринимаемые в процессе ориентировочно-исследовательской реакции, при многократном их подкреплении (либо неподкреплении) разбиваются на те, которые приводят к конечному результату, и на те, которые с конечным результатом никак не связаны. Этот процесс называется «сужением афферентации». При этом последовательность действий постепенно автоматизируется, удаляя излишние исследовательские действия, «пробы и ошибки» и излишние промежуточные действия не необходимые для достижения результата. «Этот процесс автоматизации постепенно наступает в результате того, что мы называли «сужением афферентации». Количество афферентирующих моментов извне, которые раньше животное активно выискивало, теперь уменьшается, и процесс идет автоматически по всему ряду связанных центров». [Там же; с. 349, 350].

После сужения афферентации результатом исследовательской деятельности уже будет не все многообразие раздражителей, а только вполне определенные раздражители, например, ожидание звонка, стука кормушки или вида хлеба. Результатами же собственных действий также будут не все последствия действий, а только фиксация звонка, движение к кормушке и поедание хлеба.

Заметим, что раздражители, фиксирующие результат действия, в такой же степени являются сигнальными для достижения конечного результата, что и звонок, так как, не достигнув результата какого-то промежуточного действия, нельзя надеяться и на достижение конечного результата. Поэтому результат некоторого промежуточного действия также является пусковой афферентацией для развертывания следующей последовательности действий по достижению конечного результата. Таким образом, «суженная афферентация» и является результатом тех исследовательских и собственных действий, приводящих к достижению цели более обученным и совершенным образом, т. е. результатом ориентировочно-исследовательской реакции. Множество этих новых результатов обогащает акцептор результатов действия, превращая цель в конкретную цель.

Когда функциональная система сформирована, то ориентировочно-исследовательская реакция угасает. Это, прежде всего, означает, что нет новых раздражителей, которые надо обследовать, т. е. всё известно, а также известно, как достичь результат в данной обстановке. Иначе говоря, мотивационное возбуждение автоматически преобразуется в конкретную цель и конкретный результат (акцептор результатов действия).

5. Информационная теория эмоций П.В. Симонова

Изложим информационную теорию эмоций П.В. Симонова, стараясь, с одной стороны, как можно точнее передать точку зрения автора, а, с другой стороны, выделить роль и значение понятия вероятностного прогнозирования и предсказания, как принципа этой теории.

Взаимосвязь информационной теории эмоций П.В. Симонова и Биологической теории эмоций П.К. Анохина. Информационная теория эмоций П. В. Симонова, как утверждает сам автор, является уточнением биологической теории эмоций П.К. Анохина: «*Ответ на вопрос об отношении нашей теории к теории П.К. Анохина можно сформулировать очень четко: информационная теория эмоций представляет обобщение более широкого масштаба, куда биологическая теория (эмоций. – Е.Е.) Анохина входит в качестве частного случая*» [27; с. 61]. Мы не будем здесь входить в подробности дискуссии между П.В. Симоновым и П.К. Анохиным, а только приведем основные различия в их взгляде и далее будем излагать информационную теорию эмоций П.В. Симонова как обобщение биологической теории эмоций П.К. Анохина.

Основной смысл информационной теории эмоций П.В. Симонова, в отличие от биологической теории эмоций П.К. Анохина состоит в том, что необходимо знать не только достижимость или не достижимость результата, но ещё и его *вероятность*.

Биологическая теория эмоций П.К. Анохина. Биологическая теория эмоций П.К. Анохина может быть кратко изложена следующим образом: «*Как правило, любое мотивационное возбуждение субъективно эмоционально неприятно... Отрицательная эмоция, сопровождающая мотивацию, имеет важное биологическое значение. Она мобилизует усилия животного на удовлетворение возникшей потребности... Неприятные эмоциональные переживания усиливаются во всех случаях, когда поведение животного во*

внешней среде не ведет к удовлетворению возникшей потребности... Удовлетворение потребности (действие подкрепляющего раздражителя на организм), наоборот, всегда связано с положительными эмоциональными переживаниями... Биологическое значение *положительной эмоции* при удовлетворении потребностей понятно, поскольку они как бы санкционируют успех поиска. Однако этим такое значение не ограничивается. Положительные эмоции фиксируются в памяти и впоследствии как своеобразные «представления» («аппетит». – *Е.Е.*) о будущем результате появляются всякий раз при возникновении соответствующей потребности. Обученный неоднократным удовлетворением своих потребностей организм впоследствии стимулируется к целенаправленной деятельности не только отрицательной эмоцией мотивационного состояния, но и представлением о той положительной эмоции, которая связана с возможным будущим подкреплением» [28; с. 91, 92]. Под представлением о положительной эмоции надо иметь в виду её предвосхищение по принципу опережающего отражения действительности. Поэтому если мы знаем, как достичь цели, то достижение цели будет обеспечиваться не только воздействием отрицательной эмоции мотивационного возбуждения, но и энергетическим влиянием от предвосхищения положительной эмоции «аппетитом». Таким образом, достижение цели будет обеспечиваться сразу двумя эмоциональными воздействиями – положительным и отрицательным, так сказать, «*кнутом и пряником*».

В биологической теории П. К. Анохина эмоциям отводится только энергетическая роль – «мобилизовать» и «стимулировать» животное к достижению цели. В случае возникновения препятствий отрицательные эмоции усиливаются, но, на сколько и почему – это уже выходит за рамки биологической теории эмоций и теории функциональных систем. Из дальнейшего изложения будет видно, почему такого рода тонкости принципиально не вписываются в теорию функциональных систем.

Критика П.В. Симоновым Биологической теории эмоций. «...Подавляющее большинство концепций рассматривало несовпадение *семантики* цели («акцептора действия», «нервной модели стимула» ... и т. д.) с реально полученным результатом. Такого семантического рассогласования вполне достаточно для возникновения отрицательных эмоций. Что же касается положительных эмоциональных состояний, то они традиционно рассматривались и продолжают рассматриваться как результат удовлетворения потребности, т.е. совпадения прогноза («акцептора», «афферентной модели» и т. д.) с наличной афферентацией» [27; с. 89]. «Ни в одной из работ П. К. Анохина мы не нашли упоминания о том, что наряду с содержанием (семантикой) цели мозг всякий раз прогнозирует *вероятность* её достижения. Что касается нашей теории, то для неё этот момент является ключевым... Введение категории вероятностного прогнозирования сразу же расширяет пределы применимости теории к реально наблюдаемым фактам» [26; с. 60].

П.В. Симонов приводит следующие примеры: «Литература переполнена экспериментальными данными, свидетельствующими о *зависимости эмоционального напряжения от величины потребности (мотивации) и прогнозирования вероятности ее удовлетворения*. Например, было установлено, что частота пульса у банковских служащих зависит от степени их ответственности (счёт банкнотов различного достоинства) и количества информации, содержащейся в одной операции... Наибольшее эмоциональное напряжение у собак (визг, лай, чесание, царапанье кормушки) наблюдалось при вероятности подкрепления 1 : 4, а по мере продолжения опыта – при 1 : 2. Значение информационного фактора выступает особенно отчетливо в опытах со спаренными животными, когда оба партне-

ра получают равное количество ударов током, но только один из них может предотвратить наказание соответствующей инструментальной реакцией. Показано, что именно у этого животного постепенно исчезают признаки страха» [26; с. 19].

Формула эмоций информационной теории эмоций П.В. Симонова. Вероятность – понятие информационное и связано с оценкой информации, поступающей из внешней среды для прогноза вероятности достижения цели. Это заставляет П.В. Симонова попытаться переопределить все физиологические понятия, такие как мотивация, потребность, поведение и т. д. также в терминах информации внешней среды. Но нам эта попытка представляется неудачной: во-первых, это совершенно ничего не даёт, и на таких понятиях теории не построишь. Информация, которую человек извлекает из внешней среды, настолько многообразна, часто неосознанна, что в настоящее время нет теорий, которые бы её описывали. Во-вторых, с точки зрения понятия цели потребность и мотивация являются сугубо внутренними задачами организма и информация от внешней среды, о вероятности достижения этих целей может иметь лишь вспомогательную роль. Поэтому понятие цели, мотивации и потребности должно быть на первом месте, а понятия вероятностного прогнозирования и эмоций – на втором. Тем не менее, эмоции, как мы увидим из теории П.В. Симонова, играют в организации целенаправленного поведения, может быть, даже более важную роль, чем мотивация и потребности, что может быть и заставило П.В. Симонова попытаться переопределить эти понятия. Но суть дела от этого не меняется, несмотря на важность эмоций они вторичны по отношению к понятию цели.

Кратко опишем формулу эмоций, введенную П.В. Симоновым. «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 (её качества и величины) и вероятности (возможности) её удовлетворения, которую мозг оценивает на основе генетического и ранее приобретенного индивидуального опыта... В самом общем виде правило возникновения эмоций можно представить в виде структурной формулы

$$\mathcal{E} = f[\Pi, (I_n - I_c), \dots],$$

где \mathcal{E} – эмоция, её степень, качество и знак; Π – сила и качество актуальной потребности (потребность также имеет свой знак; потребность, вызывающая мотивационное возбуждение, имеет отрицательный знак. – *Е.Е.*); $(I_n - I_c)$ – оценка вероятности (возможности) удовлетворения потребности на основе врожденного и онтогенетического опыта; I_n – информация о средствах, прогностически необходимых для удовлетворения потребности; I_c – информация о средствах, которыми располагает субъект в данный момент. Разумеется, эмоция зависит и от ряда других факторов, одни из которых нам хорошо известны, а о существовании других мы, возможно, ещё и не подозреваем... Но все перечисленные и подобные им факторы обуславливают лишь вариации бесконечного многообразия эмоций, в то время как *необходимыми и достаточными являются два... и только два фактора: потребность и вероятность (возможность) её удовлетворения...* речь идет не об информации, актуализирующей потребность (например, о возникшей опасности), но об информации, необходимой для удовлетворения потребности (например, о том, как эту опасность

избежать). Под информацией мы понимаем отражение всей совокупности средств достижения цели: знания, которыми располагает субъект, совершенство его навыков, энергетические ресурсы организма, время достаточное или недостаточное для организации соответствующих действий и т. д. Спрашивается, стоит ли в таком случае пользоваться термином «информация»? Мы полагаем, что стоит, и вот почему. Во-первых, мозг, генерирующий эмоции, имеет дело не с самими навыками ... не с самими энергетическими ресурсами организма и т. д., а с афферентацией из внешней и внутренней среды организма, то есть с информацией об имеющихся средствах. Во-вторых, все многообразие сведений, необходимых для удовлетворения возникшей потребности и реально имеющихся в данный момент у субъекта, трансформируется мозгом в единый *интегральный показатель – в оценку вероятности достижения цели* (удовлетворения потребности). Оценка же вероятности по самой природе своей есть категория *информационная*» [26; с. 20, 21]. Понятие информации нами как информационное далее использоваться не будет. Использоваться будет только оценка вероятности достижения цели как интегральный показатель, участвующий в образовании эмоций. Для получения этой оценки достаточно полагать, что она определяется на этапе принятия решений, с использованием всей информации, полученную на этапе афферентного синтеза. Мы покажем, что оценки вероятности достаточно для объяснения как теории функциональных систем П.К. Анохина, так и информационной теории П.В. Симонова.

Информационная теория эмоций П. В. Симонова как обобщение биологической теории эмоций П. К. Анохина. И в теории П. К. Анохина и в теории П. В. Симонова возникновение мотивационного возбуждения вызывает отрицательные эмоции. В обеих теориях возникновение препятствий усиливает отрицательные эмоции, хотя само мотивационное возбуждение остается тем же самым. Теория П. В. Симонова точнее тем, что оценка вероятности достижения цели позволяет: во-первых, оценить возможность достижения цели ещё до всяких действий, на этапе процесса принятия решения (и, может быть, даже отказаться от действий и предпочесть «синицу в руках журавлю в небе»); во-вторых, адекватно, в соответствии с вероятностью, мобилизовать организм для достижения цели (компенсаторная функция эмоций).

Понятие «аппетит», рассматриваемое в биологической теории эмоций, есть предвосхищение положительной эмоции, но не сама положительная эмоция. В теории П. В. Симонова само предвосхищение достижения цели с некоторой вероятностью является причиной возникновения положительных эмоций. *«Удовольствие всегда есть результат уже происходящего (контактного) взаимодействия (удовлетворения потребности – Е.Е.), в то время как радость (эмоция. – Е.Е.) есть ожидание удовольствия в связи с растущей вероятностью удовлетворения потребности»* [26; с. 90].

Возникновение положительных эмоций в теории функциональных систем, связанное с удовлетворением потребности и достижением поставленной цели (совпадением достигнутого результата с его предвосхищением в акцепторе результатов действия), объясняется в информационной теории эмоций иначе: как увеличение вероятности достижения конечного результата вследствие его фактического достижения (оценка вероятности становится равной или близкой 1). *«Информационная теория эмоций справедлива не только для сравнительно сложных поведенческих и психических актов, но и для генезиса любого эмоционального состояния. Например, положительная эмоция при еде возникает за счет интеграции голодового воз-*

буждения (потребность) с афферентацией из полости рта, свидетельствующей о растущей вероятности удовлетворения данной потребности (вероятность усвоения пищи стала практически равной 1 – *Е.Е.*)» [26; с. 27].

Возникновение положительных эмоций в результате положительного рассогласования, когда, например, получаемое превышает ожидаемое, действительно не может быть объяснено без вероятностного прогнозирования. «Опираясь на свои экспериментальные исследования, мы настаиваем, что *для возникновения положительных эмоций, так же как для возникновения эмоций отрицательных, необходимы неудовлетворенная потребность и рассогласование между прогнозом и наличной действительностью.* Только теперь речь идёт не об одной лишь семантике (содержании, качествах) цели, но о *вероятности её достижения.* Именно прогнозирование вероятности позволяет получить положительное рассогласование, превышение полученного над ожидаемым. Введение параметра вероятности достижения цели, делающее возможным положительное рассогласование, представляет зерно нашей концепции эмоций» [27; с. 89, 90]. Иллюстрацией возникновения положительной эмоции в результате положительного рассогласования является следующий эксперимент: «В наших опытах на экране, установленном перед испытуемым, проецировались наборы из пяти цифр – единиц и нулей. Испытуемого предупреждали, что некоторые из кадров, содержащие общий признак (например, два нуля подряд 00), будут сопровождаться гудком. Задача испытуемого состояла в обнаружении этого общего признака... До возникновения первой (как правило, ошибочной, например 01) гипотезы относительно подкрепляемого признака ни новые кадры, ни гудок не вызывали КГР (кожногальванический рефлекс – *Е.Е.*)... Возникновение гипотезы сопровождается КГР... После формирования гипотезы возможны две ситуации, которые мы рассматриваем в качестве экспериментальных моделей отрицательной и положительной эмоциональных реакций... Гипотеза не верна, и кадр,... содержащий подкрепляемый признак (два нуля и, следовательно, не подтверждающий гипотезу о 01 – *Е.Е.*), не вызывает КГР. Когда же гудок показывает испытуемому, что он ошибся, регистрируется КГР как результат рассогласования гипотезы с наличным раздражителем – случай, предусмотренный концепциями «акцептора результата действия» П. К. Анохина.... Испытуемый несколько раз меняет гипотезу, и в какой-то момент она начинает соответствовать действительности. Теперь уже само появление подкрепляемого кадра вызывает КГР, а его подкрепление гудком приводит к ещё более сильным кожногальваническим сдвигам. Как понять этот эффект? Ведь в данном случае произошло полное совпадение гипотезы («акцептора результата действия»... и т. д.) с наличным стимулом. Отсутствие рассогласования должно было бы повлечь за собой отсутствие КГР и других вегетативных сдвигов. На самом деле в последнем случае мы также встречаемся с рассогласованием, но рассогласованием иного рода, чем при проверке ложной гипотезы. Формирующийся в процессе повторных сочетаний прогноз содержит не только афферентную модель цели, не только ее семантику, но и *вероятность* достижения этой цели. В момент подкрепления кадра... гудком прогнозируемая вероятность решения задачи (правильность гипотезы) резко возросла, и это рассогласование прогноза с поступившей информацией привело к сильной КГР как вегетативному компоненту положительной эмоциональной реакции» [26; с. 26].

В информационной теории эмоций выделяется несколько функций эмоций.

Переключающая функция эмоций. В теории функциональных систем стадия принятия решений не была достаточно точно определена. Выработка конкретного плана действий на основании всех возможных способов достижения цели, извлеченных из памяти на стадии афферентного синтеза, невозможна без вероятностного прогнозирования и активного участия эмоций. Действительно,

если есть множество различных способов достижения цели (например, при движении по некоторой местности), имеющих различную вероятность, различные энергетические затраты и возможные опасности, то задача становится как минимум трехпараметричной:

- вероятность достижения цели;
- суммарное значение отрицательных эмоций от энергетических затрат, опасностей, риска, трудностей и т. д.;
- значение положительных эмоций (от предвосхищения достижения цели).

Причем многие решения будут, очевидно, несопоставимы между собой. Для эффективного механизма принятия решений необходим синтез всех этих показателей в один параметр, что и делают эмоции, включая в себя как вероятность достижения цели, так и положительные и отрицательные эмоции, выражающиеся в многообразии качества эмоций. Эмоции и являются тем интегральным параметром, на основе которого принимается решение. «Зависимость эмоций не только от величины потребности, но и от вероятности ее удовлетворения чрезвычайно усложняет конкуренцию сосуществующих мотивов, в результате чего поведение нередко оказывается переориентированным на менее важную, но легко достижимую цель: «синица в руках» побеждает «журавля в небе»... С физиологической точки зрения эмоция есть активное состояние системы специализированных мозговых структур, побуждающее изменить поведение в направлении минимизации или максимизации этого состояния. Поскольку *положительная эмоция свидетельствует о приближении удовлетворения потребности, а отрицательная эмоция – об удалении от него, субъект стремится максимизировать (усилить, продолжить, повторить) первое состояние и минимизировать (ослабить, прервать, предотвратить) второе...*» [26; с. 28].

Подкрепляющая функция эмоций. В теории функциональных систем под подкреплением понималась санкционирующая афферентация и вызванная ей положительная эмоция, возникающие при достижении цели и получении результата. В теории функциональных систем предполагается, что для всех целенаправленных актов, если они приводят к достижению результата, существует соответствующая закрепляющая результат санкционирующая афферентация и положительная эмоция, даже для действий по устранению боли или, например, чихания: «Можно взять для примера такой грубый эмоциональный акт как акт чихания. Всем известен тот гедонический и протопатический характер ощущения, которое человек получает при удачном чихательном акте. Точно так же известно и обратное: неудавшееся чихание создает на какое-то время чувство неудовлетворенности, неприятное ощущение чего-то незаконченного. Подобные колебания в эмоциональных состояниях присущи абсолютно всем жизненно важным отправлениям животных и человека» [6].

П. В. Симонов показывает, что *необходимым условием подкрепления* является не действие подкрепляющего раздражителя (санкционирующей афферентации), а *действие положительных эмоций при наличии мотивации*: «Однако ни афферентация из полости рта (санкционирующая афферентация – *Е.Е.*), ни голодовое возбуждение (мотивация – *Е.Е.*) сами по себе не могут играть роль подкрепления, обеспечивающего формирование инструментального условного рефлекса. Только интеграция голодового возбуждения от фактора, способного удовлетворить данную потребность, т. е. механизм, генерирующий положительную эмоцию, обеспечивает выработку условного рефлекса» [26; с. 34].

Таким образом, для *подкрепления необходимыми являются два фактора – мотивационное возбуждение и положительная эмоция*, означающая увеличение вероятности достижения поставленной мотивацией цели, при, возможно, ещё не достигнутой цели.

Участие оценки вероятности в эмоциях сразу же делает подкрепление более локальным и точным. При любом шаге вперед в достижении поставленной мотивацией цели, который фиксируется обратной афферентацией от достижения некоторого *этапного результата* (приближающего достижение конечной цели и тем самым увеличивающего оценку вероятности её достижения) вызывает положительную эмоцию и подкрепление тех мозговых структур, которые осуществили этот шаг. Следовательно, *эмоции, основанные на вероятностном прогнозировании, осуществляют подкрепление каждого успешного шага действий, увеличивающего вероятность достижения конечной цели* (в то время как санкционирующая афферентация и положительные эмоции в теории П. К. Анохина подкрепляют только всю последовательность действий, приведшую к достижению цели).

Компенсаторная функция эмоций. *Гипермобилизация вегетатики:* «... При возникновении эмоционального напряжения объем вегетативных сдвигов (учащение сердцебиения, подъем кровяного давления, выброс в кровяное русло гормонов и т. д.), как правило, превышает реальные нужды организма. По-видимому, процесс естественного отбора закрепил целесообразность этой избыточной мобилизации ресурсов. В ситуации прагматической неопределенности (а именно она так характерна для возникновения эмоций), когда неизвестно, сколько и чего потребуется в ближайшие минуты, лучше пойти на излишние энергетические затраты, чем в разгар напряженной деятельности – борьбы или бегства – остаться без достаточного обеспечения кислородом и метаболическим «сырьем»» [26; с. 35].

Замещающая функция эмоций. Эта функция в определенном смысле является обратной по отношению к обогащению функциональных систем в процессе ориентировочно-исследовательской деятельности. Развитые функциональные системы имеют богатый акцептор результатов действий, и, значит, большое множество контролируемых пусковых, обстановочных и сигнализирующих о достижении промежуточных результатов стимулов. В новой необычной обстановке часть этих стимулов может отсутствовать и, следовательно, функциональные системы не смогут в ней активироваться. В этом случае необходимо ослабить требования к поступающим стимулам, что и делается эмоциями. В новой необычной обстановке нельзя получить хорошую оценку вероятности и, следовательно, будут возникать отрицательные эмоции тревоги, страха или беспокойства, изменяющие формы поведения: «Если процесс упрочения условного рефлекса сопровождается уменьшением эмоционального напряжения и одновременно переходом от доминантного (генерализованного) реагирования к строго избирательным реакциям на условный сигнал, то возникновение эмоций ведет к вторичной генерализации. # Чем сильнее становится потребность, – пишет Ж. Нютен... – тем менее специфичен объект, вызывающий соответствующую реакцию #. Так, голодный человек начинает воспринимать неопределенные стимулы в качестве ассоциирующиеся с пищей» [26; с. 38]. 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. «Воз-

никновение эмоционального напряжения сопровождается переходом к иным, чем в спокойном состоянии, формам поведения, принципам оценки внешних сигналов и реагирования на них. Физиологически суть этого перехода можно определить как возврат от тонко специализированных условных реакций к реагированию по принципу доминанты А. А. Ухтомского» [Там же; с. 35]. «Компенсаторное значение эмоций заключается в их замещающей (недостающую информацию. – Е.Е.) роли» [Там же; с. 38, 39]. «Что касается положительных эмоций, то их компенсаторная функция реализуется через влияние на потребность, инициирующую поведение. В трудной ситуации с низкой вероятностью достижения цели даже небольшой успех (возрастание вероятности) порождает положительную эмоцию воодушевления, которая усиливает потребность достижения цели». [Там же; с. 39].

6. Потребности и парадокс цели. Синтез принципов целеполагания и вероятностного прогнозирования

Потребности как движущая сила поведения. Поскольку потребности и есть цели, ставящиеся перед организмом, то анализ понятия «потребность» является достаточно важным. Потребности – движущая сила любого целенаправленного действия: «Допущение каких-то иных источников мотивации, существующих рядом с потребностями и независимых от них, возникает, по нашему мнению, по двум причинам. Во-первых, мы нередко забываем, что установки, ценности, интересы, цели субъекта являются производными от потребностей, порождаются ими... Во-вторых, мы всё ещё недооцениваем богатства и разнообразия потребностей, упорно сводя их к ограниченному числу материально-биологических потребностей в пище, одежде, жилище и т.п.... Вместе с тем в настоящее время убедительно показано, что потребность в информации (в новизне, изменчивости внешней среды) является одной из древнейших и самостоятельных потребностей живых систем. Опыты с так называемой сенсорной депривацией у животных и человека, исследование феноменов информационного голодания и скуки служат убедительным тому подтверждением» [26; с. 145].

Информационная теория эмоций П. В. Симонова позволяет существенно продвинуться в понимании роли потребностей в жизни животных и человека и, в частности, объяснить, в чём принципиальное различие между положительными и отрицательными эмоциями. Приведем сначала объяснение этого различия, данное в информационной теории эмоций. «Наличие положительных и отрицательных эмоций указывало на скрывающиеся под ними две основные группы потребностей, первые из которых обеспечивают сохранение живых систем и результатов их деятельности, а вторые – делают возможным развитие, совершенствование этих систем, усложнение их внутренней организации. Эти две группы мотиваций вслед за Г. Олпортом и А. Маслоу можно назвать «*потребностями нужды*» и «*потребностями роста*» [Там же; с. 150]. «Принципиальное различие между положительными и отрицательными эмоциями обнаруживается при удовлетворении даже сравнительно элементарных потребностей, например потребности в пище. Сильный голод, переживаемый субъектом как отрицательная эмоция, побуждает удовлетворить его любыми съедобными веществами, лишь бы избавиться от мучительного для субъекта состояния. Удовольствие, получаемое от пищи, с необходимостью требует её разнообразия, поиска новых питательных веществ, их новых комбинаций и способов приготовления. Иными словами, даже на уровне пищевой по-

требности положительные эмоции играют творчески-поисковую роль, содействуя освоению новых сфер окружающей действительности» [Там же; с. 154]. «Как и все другие потребности, нужда и рост индивидуально варьируются у разных людей. По-видимому, именно относительное преобладание одной из этих потребностей ведёт к тому, что при исследовании так называемого уровня притязаний испытуемые делятся на две группы: на тех, кто стремится к успеху, и на тех, кто главным образом избегает неуспеха» [Там же; с. 155]. Важно отметить, что П. В. Симонов ссылается на А. Маслоу, который разработал достаточно подробную иерархию потребностей человека [24].

Потребности и парадокс цели. Проанализируем потребности нужды и роста с точки зрения понятия цели. Как уже отмечалось, парадоксальность цели состоит в том, что цель принципиально ничего не говорит о том, чем, как и когда её можно достичь. Если потребности «нужды», и соответствующие им мотивации, вызывающие отрицательные эмоции, ставят перед организмом недостаточно дифференцированные цели, как, например, сильный голод или сенсорная депривация (которая буквально означает желание «чего-то новенького вообще»), то удовлетворение потребностей «роста», вызывающие положительные эмоции, сильно дифференцировано по силе и качеству в зависимости от того, чем, как и когда мы удовлетворили цель. Тем самым *положительные эмоции* в значительной степени берут на себя *оценку качества достигнутого результата* и желательности того конкретного объекта или способа действий, которым был достигнут результат. Действительно, было бы неразумно, если бы мотивация ставила перед организмом слишком конкретную цель. Доминанты или генетически заложенные врожденные «скелеты» функциональных систем ставят перед организмом максимально общие цели, позволяя в дальнейшем в процессе обучения и ориентировочно-исследовательской деятельности обогащать эти функциональные системы. Такого обучения достаточно для получения функциональных систем типа «нужды», таких как реакция на боль, дыхание, выделение и т. д. В этих функциональных системах результат прост, и если эта «нужда» будет устранена, то цель будет достигнута. Результат для потребности «нужды» и должен быть прост, так как единственно, что надо достигнуть, это устранить данную нужду. Достижение таких результатов и обеспечивается отрицательными эмоциями, имеющими безусловную побудительную силу – устранить «нужду».

Рост и развитие практически бесконечны и для побуждения к ним нужны сильно дифференцированные цели, оцениваемые положительными эмоциями, не имеющими безусловной побудительной силы, а имеющими характер награды: чем более «высокая» цель будет достигнута, тем выше награда. Отрицательные и положительные эмоции, как уже отмечалось, играют роль кнута и пряника в целенаправленной деятельности – кнута для достижения необходимых для нормальной жизнедеятельности целей («нужды»), побуждаемых отрицательными эмоциями и пряником для достижения целей освоения внешнего (и внутреннего) мира («роста»). Освоения всё новых территорий, навыков, завоевание социального статуса и т. д. во внешнем мире, а также в сопричастности, любви, уважении, признании и самоактуализации, во внутреннем мире (см. А. Маслоу [24]).

Если результаты могут значительно варьироваться по качеству для различных способов достижения цели, как, например, в функциональных системах

пищеварения, половой системе, информационных, духовных, и т. д., то нас в этом случае должно интересовать не только достижение цели, но и качество получаемого результата. Но как это сделать, если мы *принципиально* не можем включать элементы качества в постановку цели? Знать о возможном качестве результата можно *только* после его достижения. Поэтому нельзя ставить в качестве цели некоторый качественный результат просто потому, что мы ещё не знаем, что это такое. *Определить качество достигнутого результата и дать ему оценку и есть функция положительных эмоций.*

Но здесь возникает новый парадокс: каким образом положительная эмоция, соответствующая достижению некоторого качественного результата, может ставить «высокую цель» по его достижению, если до достижения результата мы принципиально не можем знать, какими качествами он обладает? Каким возбуждением (типа мотивации) ставится цель, если ещё нет результата и, следовательно, вызываемой им положительной эмоции? Этот парадокс разрешается тем принципиальным новшеством информационной теории эмоций, согласно которому эмоции возникают не только после достижения результата, но и до возникновения результата за счёт вероятностного прогноза возможности достижения этого качественного результата. Но опережающее отражение действительности требует наличия опыта. *При наличии опыта* по достижению результата определенного качества *цель может быть поставлена положительной эмоцией ещё до начала всякого действия* за счет *вероятностного прогноза* достижимости этой качественной цели в данных условиях. *Поэтому качественный результат сам ставит цель по своему достижению*, как только получен положительный прогноз его достижимости в данных условиях. При этом критерием достижения цели будет не тот результат, который ставится соответствующим мотивационным возбуждением без учета качества, а результат определенного качества и соответствующей ему более богатой санкционирующей афферентации, вызывающей положительные эмоции.

Сама по себе положительная эмоция консервативна. Научившись достигать результат определенного качества, мы не знаем и принципиально не можем знать, что можно достигать лучшего и вполне можем ограничиваться достигнутым уровнем результатов. Пока случайно что-нибудь новое (экспериментирование, опыт других, поездки и т. д.) не покажет нам, что мы «много потеряли», не умея что-то делать лучше. Не останавливаться на месте и не удовлетворяться достигнутым качеством заставляют отрицательные эмоции, которые обладают безусловной побудительной силой. Сенсорный голод (сенсорная депривация), жажда впечатлений, скука и т. д. являются примерами наименее дифференцированных, но эмоционально отрицательных мотиваций, приводящих к необходимости постоянно «поднимать планку» качества достигаемых результатов.

Поэтому обучение функциональных систем не заканчивается достижением результата, ставящегося мотивационным возбуждением. Цель и результат, ставящиеся мотивационным возбуждением, являются только первой ступенью среди качественных результатов. Дальнейшее развитие функциональных систем берут на себя положительные эмоции, которые начинают свою работу с эмоциональной оценки качества результатов. Положительные эмоции очень важны, чтобы не терять достигнутого уровня притязаний, иерархии в обществе, достигнутого качества жизни (пищи, жилья, комфорта и т. д.). Для этого положитель-

ные эмоции должны иметь достаточно сильную энергетическую поддержку, чтобы, несмотря на большие энергетические затраты, которые, как правило, требуются для достижения качественного результата, стремиться к достижению такого результата. «Большую побуждающую силу потребностей роста по сравнению с потребностями нужды давно отметила народная наблюдательность в известной поговорке... «*Охота пуще неволи*»». [26; с. 155].

«Для правильного понимания закономерностей человеческого поведения важно помнить, что хотя все ... потребности тесно связаны друг с другом и редко обнаруживаются в изолированном, чистом виде, они принципиально не выводимы друг из друга и не заменяют друг друга. Любая степень удовлетворения одного типа потребностей не избавляет человека от необходимости удовлетворять потребности другого типа» [Там же. с. 156].

Дальнейшее рассмотрение потребностей «нужды» и «роста» в связи с освоением не только внешнего мира, но и внутреннего духовного мира приведено в работах А. Маслоу, где эти потребности называются потребностями «дефицита» и «развития» [24].

Синтез принципов целеполагания и вероятностного прогнозирования в работе мозга. В информационной теории эмоций *главная цель организма* формулируется следующим образом: «Поскольку положительная эмоция свидетельствует о приближении удовлетворения потребности, а отрицательная эмоция – об удалении от него, субъект стремится максимизировать (усилить, продолжить, повторить) первое состояние и минимизировать (ослабить, прервать, предотвратить) второе ...» [26; с. 28].

Проанализируем эту цель. Отрицательные эмоции являются субъективным отражением некоторого неудовольствия («нужды»). Положительные эмоции являются субъективным отражением предвосхищения некоторого качественного результата. В обоих случаях *главная цель организма объединяет два параметра: первый – вероятностная оценка достижимости результата и второй – качество результата (санкционирующей афферентации)*. Первый параметр отражает принцип вероятностного прогнозирования, а второй принцип целеполагания.

Главная Цель Организма (ГЦО) и является принципом, синтезирующим принципы целеполагания и вероятностного прогнозирования. Будем называть его ГЦО-принципом. Субъективно он ощущается как максимизация положительных и минимизация отрицательных эмоций. ГЦО-принцип реализуется организмом переключающей функцией эмоций на стадии принятия решений. Опираясь на ГЦО-принцип, организм принимает решение, что, как и когда нужно сделать для достижения цели.

7. Формальный анализ принципов целеполагания, предсказания и ГЦО

Из теории функциональных систем следует, что достижение каждой цели осуществляется последовательностью и иерархией функциональных систем и соответствующих результатов и, следовательно, каждая цель разбивается на последовательность и иерархию подцелей. Полученное дерево целей и результатов образуют ту *логическую схему достижения цели*, которая определяет способ её достижения. Эта схема является логической в широком смысле, 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.

Из теоремы о формализуемости задач [19] в рамках слабых формальных систем следует, что достижение любых целей может быть описано логически в рамках иерархии слабых формальных систем, например, в рамках логического программирования. Тем самым, опираясь на концептуальный мост, связывающий принцип задачного подхода в основаниях математики и принцип целеполагания в ТФС, формальная модель работы мозга, вытекающая из принципа целеполагания, вполне может быть описана иерархией слабых формальных систем. Принцип целеполагания наиболее ярко проявляется, когда процесс обучения мозга закончен и действия становятся автоматизированными – без эмоций и ориентировочно-исследовательской реакции. В этом случае результаты действий точно согласуются с ожидаемыми и вероятностное прогнозирование (с вероятностью 1) сводится к логическому выводу, а процесс достижения цели может быть описан логически иерархией слабых формальных систем.

Но, как показано в предыдущем параграфе, главная цель организма – максимизировать положительные и минимизировать отрицательные эмоции. Рассмотрим, какие формальные методы, известны в искусственном интеллекте, использующиеся для формализации вероятностного прогнозирования.

В искусственном интеллекте, философской логике, принятии решений, вероятностной логике и т. д. рассматриваются только логические схемы достижения результатов. Во всех перечисленных областях вероятностные оценки предсказания осуществляются «вдогонку» (параллельно) логическому выводу. Но как мы покажем, хорошие вероятностные оценки предсказаний таким путем получить нельзя, потому что на первое место ставится логический вывод, т. е. принцип целеполагания, а вероятностные оценки полученного результата вычисляются в соответствии с полученной иерархией задач. Тем самым вероятностное прогнозирование ставится в подчинение принципу целеполагания. Посмотрим, к чему это приводит.

Критика логического вывода знаний. Проанализируем подробнее, что известно о вычислении вероятностных оценок предсказания в искусственном интеллекте, экспертных системах, принятии решений и вероятностных логиках. Во всех этих областях применяется логический вывод знаний. 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. Логический вывод знаний 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 по правилам 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.) «вдогонку» логическому выводу. Вычислению этих оценок посвящены работы по вероятностной и нечеткой логике [31; 32; 34–35; 36; 37–38; 39–40]. Есть работы, в которых вероятность (достоверность и пр.) рассматриваются как значения истинности утвер-

ждений, а процесс логического вывода обобщается до так называемых «количественных дедукций» (дедуктивных систем, в которых значения истинности непрерывны и принимают значения в интервале $[0,1]$) [31; 34–35; 36]. В работах ([31; 34–35]) описываются довольно богатые формальные системы, содержащие как частные случаи основные известные «количественные дедукции».

Но, несмотря на значительный прогресс в разработке формальных систем, все они основаны на логическом выводе знаний. Анализ изменений оценок вероятности утверждений в процессе логического вывода показывает, что они всегда уменьшаются и, как правило, существенно (за исключением случая, когда условная вероятность или вероятность равны 1). При этом полученные оценки нельзя улучшить, даже если ограничиться правилами с условной вероятностью не меньшей чем, например, 1-ε. И это не случайно.

Дело в том, что использование логического вывода неявно предполагает абсолютную достоверность (или гипотетичность) используемых в выводе знаний и отвечает требованиям сохранения истинности, но не вероятности. Это подтверждается тем, что применение правила вывода *modus ponens* (из A и $A \Rightarrow B$ следует B) даёт оценку вероятности $p(B)$ меньшую, чем оценка $p(A)$ при вычислении оценки заключения $p(B)$ по правилам вероятностной логики (за исключением случая, когда $p(B/A) = 1$, тогда $p(A) = p(B)$). Иными словами, только достоверное знание ($p(B/A) = 1$) 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 истинность. Неограниченное применение правил вывода к вероятностным знаниям неприменимо, так как может приводить к знаниям со сколь угодно низкой оценкой вероятности и, фактически, уже не являющимися знаниями. Как мы покажем далее, если отказаться от логического вывода знаний, то можно построить такой семантический вероятностный вывод предсказания в котором, наоборот, оценки вероятности предсказания будут строго возрастать.

Таким образом, в философской логике, искусственном интеллекте, принятии решений, экспертных системах, вероятностных логиках главенствующую роль всегда играл принцип целеполагания, формально представленный логическим выводом знаний. Применение логического вывода к эмпирическим знаниям и, в том числе, к знаниям, полученным в процессе обучения, непропорционально, поэтому необходимо изменить существующую парадигму логического вывода знаний и разработать такую формализацию предсказания, в которой главной целью знаний являлись бы оценки вероятности предсказания. Только в таких формальных системах можно пытаться строить формальную модель работы мозга.

Семантический подход к выводу знаний, вероятностному прогнозированию и предсказанию. Таким образом, для получения максимальных вероятностных оценок предсказания необходимо отказаться от логического вывода знаний. Нужно понять, что мозг – это не логическое, а, предсказывающее устройство. 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.

Рассмотрим процесс вычисления с точки зрения «семантического» подхода к программированию [33]. 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, подтвержденности, достоверности высказываний на модели. Такие выводы будем называть семантическими. Для семантического вывода проверку истинности можно заменить поиском 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 и ложь, среди которых не имеет смысла искать «наиболее истинное», а континуум значений, то поиск наиболее вероятного, достоверного и т. д. утверждения имеет смысл. В этом случае мы не нуждаемся в правилах вывода.

Назовем *принципом предсказания* такую формализацию вероятностного прогнозирования и предсказания, где главной целью является максимизация оценок предсказания. Такая формализация вероятностного прогнозирования, вывода знаний и предсказания осуществлена, используя *Семантический Вероятностный Вывод* (СВВ) [7, 14, 41].

Опираясь на формализацию вероятностного прогнозирования и предсказания как СВВ, мы получаем *формализацию ГЦО-принципа* как: *мозг способен автоматически осуществлять предсказания, обеспечивающие максимальные оценки прогноза достижимости результатов.*

8. Критика гипотезы суммации возбуждений на единичном нейроне. Новая формальная модель нейрона

Прежде чем определить новую формальную модель нейрона, реализующую СВВ, 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 ещё одно научное заблуждение. Эта гипотеза была подвергнута критике П. К. Анохиным ещё в 1974 г. [1]. Работа была переведена на английский язык, но в Neuroscience до сих пор придерживаются этой гипотезы. Полная её абсурдность следует из самой работы [1]. Ниже приведен краткий вывод.

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» [1; с. 357].

П. К. Анохин выясняет причину возникновения этой «гипотезы»: «...Произошел тот незаметный перенос выработанной ранее традиционной логики исследования процесса на проводящих образованиях (нервных волокнах. – Е.Е.) 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 холмику, т. е. к выходу на аксон» [1; с. 361].

Новая формальная модель нейрона, реализующая СВВ. 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 коллатералям на «вход» и т. д. Любая афферентация, поступающая на вход по некоторому аксону, имеет два состояния – возбуждение или отсутствие возбуждения (существуют и другие парамет-

ры 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 только наличие возбуждения и его вероятность (частоту импульсов)). Поэтому определим поступающую на «вход» мозга информацию одноместными предикатами, которые фиксируют бинарное свойство возбуждения/(не возбуждения) некоторого аксона. Возбуждение нейрона и передачу этого возбуждения на его аксон также определим одноместным предикатом, истинность которого будет означать возбуждение нейрона. Из экологической теории восприятия Дж. Гибсона следует, что под информацией можно понимать любую характеристику энергетического потока света, звука и т. д., поступающую на вход мозга. Признаки, свойства, понятия вторичны по отношению к этой информации и мы этими терминами пользоваться не будем. Поэтому в дальнейшем мы будем предполагать, что вся афферентная информация задается 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, санкционирующая афферентация от достигнутого результата (в том числе определенного качества) и эмоции имеют генерализованное воздействие на нейроны коры головного мозга, то мы можем

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, ветвясь, передает свое возбуждение на один и тот же нейрон через множество синапсов как возбуждающих, так и тормозных. Поэтому каждое возбуждение передается нейрону как через возбуждающие, 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, признаков, свойств 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.

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 каждый нейрон в некоторый момент времени работает в рамках определенной функциональной системы и, значит, активной для него является только одна тройка $\langle M, P, \mathcal{E} \rangle$ мотивации M , результата P и эмоции \mathcal{E} , сочетающиеся 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 $\langle \langle M, P, \mathcal{E} \rangle, M, P_1, \dots, P_k \rangle \Rightarrow P_0$. 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 этой же мотивацией цели. Конечно, среди всех возбуждений P_1, \dots, P_k есть множество возбуждений, которые могут быть активизированы только при включении данного нейрона в работу других функциональных систем, но эти возбуждения будут автоматически проигнорированы нейроном, так как они не активны при работе данной функциональной системы, определяемой тройкой $\langle M, P, \mathcal{E} \rangle$ (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 одной функциональной системы. Поэтому преобразование $\langle \langle M, P, \mathcal{E} \rangle, M, P_1, \dots, P_k \rangle \Rightarrow P_0$ само автоматически выделит среди всех возбуждений P_1, \dots, P_k те возбуждения, которые позволяют с максимальной вероятностью предсказать (и тем самым возбудить) нейрон P_0 в рамках вполне определенной функциональной системы, определяемой тройкой $\langle M, P, \mathcal{E} \rangle$.

Для рассмотрения оценок условных вероятностей предсказания, необходимо определить вероятность. Нам достаточно определить вероятность событий, фиксируемых нейронами, участвующими в работе некоторой функциональной системы. Событием $P_{i_1} \& \dots \& P_{i_m}$, $\{P_{i_1}, \dots, P_{i_m}\} \subseteq \{P_1, \dots, P_k\}$ в нейроне

$$\langle \langle M, P, \mathcal{E} \rangle, M, P_1, \dots, P_k \rangle \Rightarrow P_0$$

будем называть одновременное возбуждение входов $P_{i_1} \& \dots \& P_{i_m}$ этого нейрона непосредственно перед действием подкрепляющего возбуждения. Частоту $h(P_{i_1} \& \dots \& P_{i_m})$ события $P_{i_1} \& \dots \& P_{i_m}$, определим как $h = n/N$, где N – общее число подкреплений нейрона тройкой $\langle M, P, \mathcal{E} \rangle$, а n – число случаев подкрепления, когда были одновременно возбуждены все предикаты $P_{i_1} \& \dots \& P_{i_m}$. Под оценкой условной вероятности $\wp(P_0 / P_{i_1} \& \dots \& P_{i_m})$ возбуждения нейрона P_0 при условии возбуждения его входов $P_{i_1} \& \dots \& P_{i_m}$ будем понимать условную частоту

$$h(P_0 / P_1 \& \dots \& P_m) = h(P_0 \& P_1 \& \dots \& P_m) / h(P_1 \& \dots \& P_m).$$

Примем *интерпретацию вероятности*, введенную К. Поппером, как предрасположенность с определенной вероятностью к появлению некоторого события. Будем считать, что при рассмотрении работы некоторого нейрона $\langle \langle M, P, \mathcal{E} \rangle, M, P_1, \dots, P_k \rangle \Rightarrow P_0$ в некоторой функциональной системе у нас определены вероятности всех событий.

В процессе выработка условного рефлекса условные сигналы начинают связываться с результатом. На уровне нейронов условный рефлекс проявляется в виде эффектов замыкания условных связей на уровне нейронов. Формальное описание такого замыкания лежит в основе определения СВВ.

Под *семантическим вероятностным выводом* понимается такая последовательность правил C_1, C_2, \dots, C_n , предсказывающих выход нейрона P_0 что:

1. $C_i = (P_1^i \& \dots \& P_m^i \Rightarrow P_0)$, $i = 1, \dots, n$;
2. C_i - *подправило* правила C_{i+1} , т.е. $\{P_1^i, \dots, P_m^i\} \subset \{P_1^{i+1}, \dots, P_{m_{i+1}}^{i+1}\}$;
3. $\wp(C_i) < \wp(C_{i+1})$, $i = 1, 2, \dots, n-1$, где *Условная Вероятность* (УВ) правила $\wp(C_i) = \wp(P_0 / P_1^i \& \dots \& P_m^i) = \wp(P_0 \& P_1^i \& \dots \& P_m^i) / \wp(P_1^i \& \dots \& P_m^i)$;
4. C_i – *Вероятностные Законы* (ВЗ), т.е. для любого подправила $\hat{C} = (P_1 \& \dots \& P_k \Rightarrow P_0)$ правила C_i , $\{P_1 \& \dots \& P_k\} \subset \{P_1^i \& \dots \& P_m^i\}$ выполнено неравенство $\wp(\hat{C}) < \wp(C_i)$;
5. C_n – *Сильнейший Вероятностный Закон* (СВЗ), т.е. правило C_n не является подправилом никакого другого вероятностного закона.

Семантических вероятностных выводов, предсказывающих выход нейрона P_0 может быть много. Все они образуют *Дерево Семантического Вероятностного Вывода* (ДСВВ), изображенное на рис. 1.

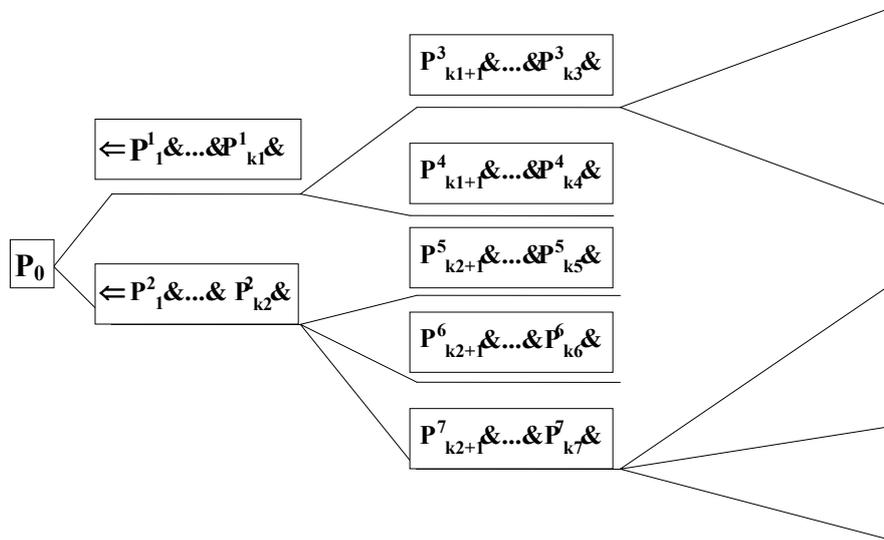


Рис. 1. Дерево семантического вероятностного вывода

Гипотеза: *Функция нейрона состоит в обнаружении дерева семантического вероятностного вывода для каждой функциональной системы, в работу которой он включён.*

Вероятностные закономерности $C_i = (P^i_{k1} \& \dots \& P^i_{kn_i} \Rightarrow P_0)$, $i = 1, \dots, n$ формируют условные связи между входными возбуждениями нейрона P_{i_1}, \dots, P_{i_m} , приходящими из разных отделов мозга на его синапсы, и его выходным возбуждением P_0 . 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 в процессе СВВ вероятностных закономерностей с достаточным для его возбуждения уровнем оценки условной вероятности. Частота его возбуждения и быстрота возбуждения пропорциональны максимальной величине условной вероятности среди всех сработавших закономерностей.

Заметим, что вид нейрона, приведённый на рис. 2, в некотором смысле иллюстрирует формальное определение дерева семантического вероятностного вывода.

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.

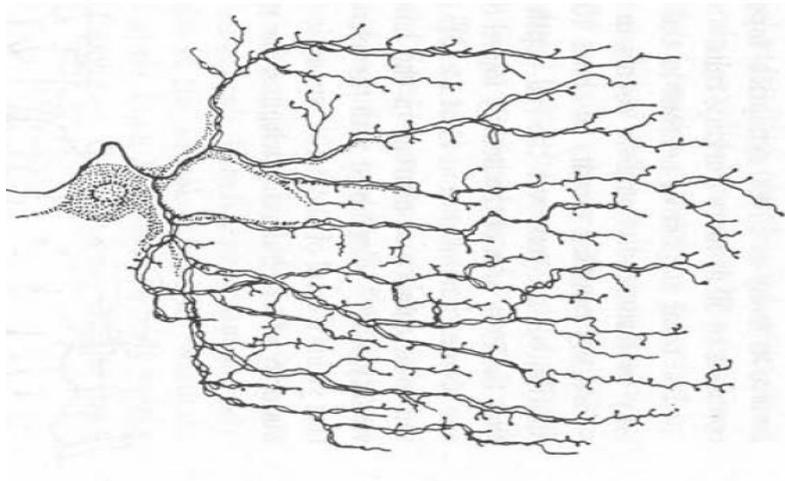


Рис. 2

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

9. Организация межнейронных связей. Внешние и внутренние контуры работы мозга

В силу сформулированной выше гипотезы, нейроны обнаруживают все вероятностные закономерности между его входом и выходом для различных функциональных систем, в которые он включен.

Для обеспечения ГЦО-принципа мозг также должен уметь обнаруживать всё множество *вероятностных закономерностей* PR между поступающей на его «вход» информацией и любым эффекторным «выходом». Для этого необходимо, чтобы нейроны были связаны так, что на их входы могла попасть любая входная афферентация мозга и их выход мог достичь любого эффекторного органа.

Именно это и осуществляется решеточным принципом межнейронных связей [25]: «Мы считаем, что в самом фундаменте нейронной организации заложен биологически обусловленный принцип универсальной взаимосвязи всех воспринимающих раз-

дражения элементов – рецепторов – 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 перекрёста («решетки») нервных путей, соединяющих отдельные рецепторные точки тела, или их группы, с эффекторными» [25; с. 101]. Рис. 3, приведенный в работе [25], 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 нём импульсов» [Там же; с. 102].

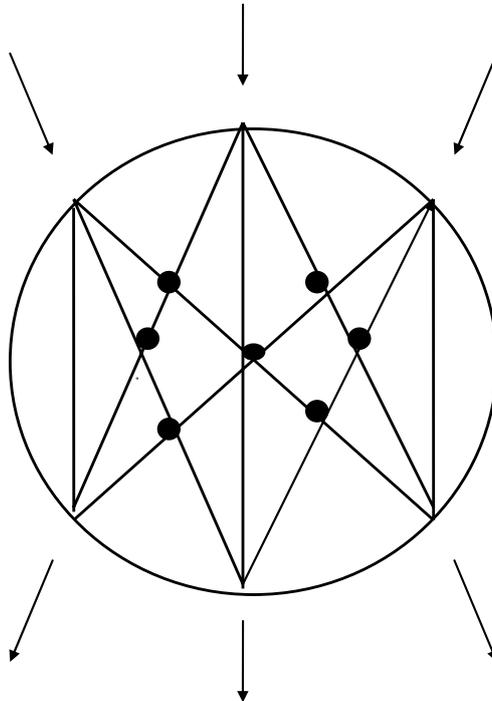


Рис. 3

В дополнение к «переключающей» функции нейронов надо ещё 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 неё или возникающие в ней в вертикальном направлении (перпендикулярно её поверхности) пронизывают почти всю

кору. Таким образом, мозг устроен в соответствии с необходимостью иметь максимально точные предсказания, которые можно получить обнаружением всех вероятностных закономерностей PR.

Роль ориентировочно-исследовательской реакции в реализации ГЦО-принципа. Общее определение функциональных систем. Вспомним, что функциональные системы формируются для выполнения некоторых функций организма и достижения соответствующих результатов. Используя формальную модель нейрона, объясним, как происходит формирование функциональных систем на нейрофизиологическом уровне. Пусть тройка $\langle M, P, \Xi \rangle$ ставит цель по выполнению некоторой функции организма. Если формирование функциональной системы ещё не закончено, и мы ещё не имеем высоковероятный прогноз достижения цели, то возникает ориентировочно-исследовательская реакция, которая:

- во-первых, стремится к тому, чтобы все окружающие животное 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...» [Там же; 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 отдалёнными нейронами коры: «ориентировочно-исследовательская реакция ... всегда ведёт 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» [Там же; с. 351].

Нетрудно видеть, что все эти функции ориентировочно-исследовательской реакции направлены на то, что бы обнаружить максимальное число вероятностных закономерностей PR и сформировать такие функциональные системы, которые бы включали максимальные возможности предсказания результата, предоставляемые схемой соединения нейронов (см. рис. 3).

Действительно, добиваясь того, чтобы все раздражители были известны, она максимально увеличивает «вход» мозга.

Поднимая и выравнивая активность нейронов коры, она обеспечивает равномерное увеличение числа активных нейронов, «срабатывающих» по недостаточно сильным вероятностным закономерностям, что ещё больше увеличивает объем доступной информации и возможность её передачи из одних отделов мозга в другие.

И затем «связывает» условными связями всю эту информацию с конечным результатом путем обнаружения вероятностных закономерностей. Даже при

небольшом числе сочетаний условного сигнала с безусловным, когда вероятностная закономерность ещё недостаточно сильна, мы получаем предсказание безусловного сигнала за счёт срабатывания нейрона по слабой закономерности.

При таком действии практически любая вероятностная закономерность из PR, полезная для предсказания какого-либо (этапного) результата P_0 какой-либо из потребностей $\langle M, P, \mathcal{E} \rangle$, может быть обнаружена схемой нейронов рис. 3, и включена в функциональную систему (если только для этой вероятностной закономерности $(M \& P_{i_1} \& \dots \& P_{i_m} \Rightarrow P_0) \in PR$ существует нейрон $\langle \langle M, P, \mathcal{E} \rangle, M, P_{i_1}, \dots, P_{i_m} \rangle \Rightarrow P_0$, на который приходят все стимулы закономерности $\{P_{i_1}, \dots, P_{i_m}\} \subseteq \{P_1, \dots, P_k\}$). В силу принципа всеобщего перекреста, мы всегда будем считать, что такой нейрон существует. Для обнаружения вероятностных закономерностей $(M \& P_{i_1} \& \dots \& P_{i_m} \Rightarrow P_0) \in PR$ некоторой функциональной системой $\langle M, P, \mathcal{E} \rangle$ достаточно мотивации M и того факта, что при условии $M \& P_{i_1} \& \dots \& P_{i_m}$ сработал нейрон P_0 , приблизивший нас к достижению конечного результата P_0 и вызвавший положительную эмоцию \mathcal{E} . Каждая вероятностная закономерность из PR подкрепляется единственной тройкой $\langle M, P, \mathcal{E} \rangle$.

Множество нейронов (и обнаруживаемых ими вероятностных закономерностей из PR), подкрепляемых некоторой тройкой $\langle M, P, \mathcal{E} \rangle$ и есть *функциональная система*, определяемая этой $\langle M, P, \mathcal{E} \rangle$. Обозначим через $PR(M, P, \mathcal{E})$ все те вероятностные закономерности (и содержащие их нейроны), которые соответствуют этой функциональной системе.

Пусть $\{\langle M, P, \mathcal{E} \rangle\}$ – множество всех потребностей. Множество $\{\langle M, P, \mathcal{E} \rangle\}$ разбивает всё множество вероятностных закономерностей PR на непересекающиеся группы $\{PR(M, P, \mathcal{E})\}$, так как каждая вероятностная закономерность закрепляется только одной потребностью $\langle M, P, \mathcal{E} \rangle$. Поэтому $PR = \cup \{PR(M, P, \mathcal{E})\}$. Однако нейроны могут обнаруживать закономерности принадлежащие разным группам, так как один и тот же нейрон может участвовать в работе нескольких функциональных систем.

Рассмотрим, как развиваются функциональные системы. Это позволит нам дать более подробную структуру функциональных систем.

Внешние и внутренние контуры работы мозга. Объясним также свойства акцептора результатов действия, которые 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 свойствах акцептора результатов действия, которые мы хотим объяснить: «**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» [28; 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 не-**

обходимого в данный момент результата, но и сличать их с параметрами реального результата» [3; с. 95].

Как уже говорилось, под «предвидением» понимается предвосхищение в соответствии с принципом опережающего отражения действительности [4], всей последовательности и иерархии результатов необходимых для достижения конечной цели. 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 входных стимулов: «Речь идет о коллатеральных ответвлениях пирамидного тракта, отводящих ко многим межучным нейронам “копии” тех эфферентных посылок, которые выходят на пирамидный тракт... Таким образом, момент принятия решений и начала выхода рабочих эфферентных возбуждений (начало действий – Е.Е.) из мозга сопровождается формированием обширного комплекса возбуждений, состоящего из афферентных признаков будущего результата и из коллатеральной “копии” эфферентных возбуждений, вышедших на периферию по пирамидному тракту к рабочим органам» [3; с. 97]. Таким образом, рис. 3 преобразуется в более сложную схему рис.4.

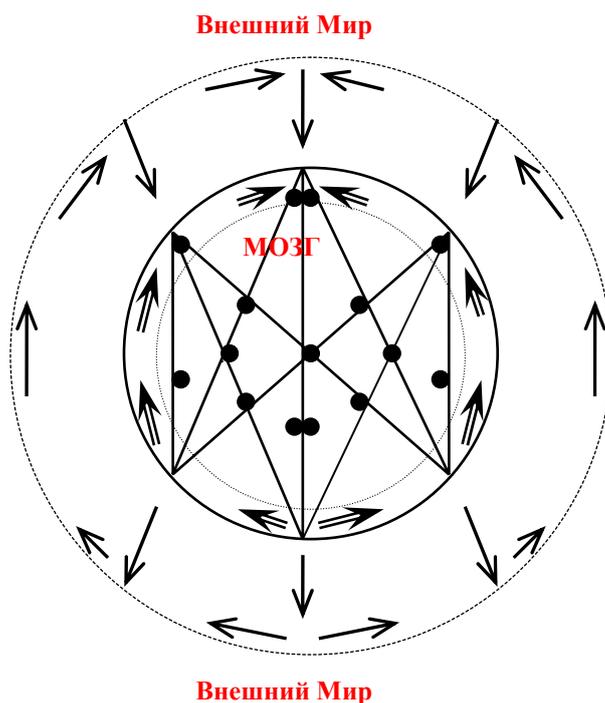


Рис. 4

В рис. 4 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 акцептором результатов действий.

10. Основные схемы работы мозга, реализующие принципы целеполагания, предсказания и ГЦО

Рассмотрим классический условный рефлекс. Пусть **a** – выбранный нами условный сигнал, например, звонок и **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 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** – восприятие стука кормушки, будет пусковым для начала следующего этапа действий – подхода к кормушке и восприятие хлеба *dc*. Получение результата **c** – восприятие хлеба, «запустит» последнее действие *dd* – поедание хлеба с целью получения конечного результата **d** – ощущение хлеба рецепторами языка.

Каждое действие *da*, *db*, *dc*, *dd* по коллатералям, обозначенным стрелкой \Rightarrow , передает свое возбуждение на «вход» мозга (см. рис. 4). Поэтому, возбуждение от моторного нейрона *da* одновременно с активацией самого действия, обозначенного стрелкой \rightarrow , передаёт своё возбуждение, показанное стрелкой \Rightarrow , на вход нейрона **a**, действие *db* на вход нейрона **b**, действие *dc* на вход нейрона **c** и действие *dd* на вход нейрона **d** (см. рис. 5). Значит, на входы нейронов результатов **a**, **b**, **c**, **d** поступит не только обратная афферентация $Res(da)$, $Res(db)$, $Res(dc)$, $Res(dd)$ о результатах совершенных действий, поступающая по внешнему контуру, но и возбуждения от самих действий *da*, *db*, *dc*, *dd*, поступающая по внутреннему контуру мозга. Стрелка \rightarrow после действий *da*, *db*, *dc*, *dd* означает совершение действий во внешней среде.

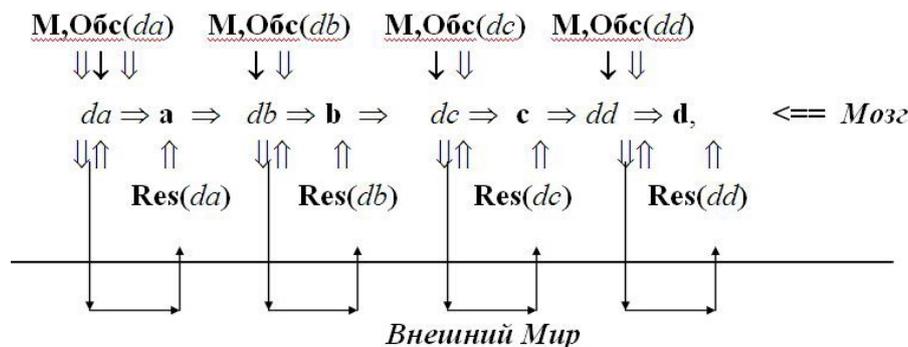


Рис. 5

После восприятия звонка **a** следует восприятие стука кормушки **b**. Но для получения этого необходимо произвести действия по организации восприятия стука кормушки, иначе результат не будет получен. «Запуск» действия db (ожидания стука кормушки) должен быть осуществлен нейроном db при действии на него пускового стимула **a** (звонок) по закономерности $a \Rightarrow db$. Эта закономерность будет обнаружена потому, что действие db приведёт к возможности получения обратной афферентации $\text{Res}(db)$ от стука кормушки и получения результата **b** – восприятия стука кормушки. Предвосхищение получения результата **b** после совершения действия db будет осуществляться по закономерности $db \Rightarrow b$, обнаруживаемой нейроном результата **b** после получения сигнала о совершении действия db по коллатералям внутреннего контура работы мозга. Закономерность $b \Rightarrow d$, обнаруживаемая нейроном конечного результата **d** (ощущение хлеба), имеет большую условную вероятность, чем закономерность $a \Rightarrow d$ от сигнального стимула, ввиду приближения к достижению цели (нейрон **d** вслед за сигналом о восприятии звонка **a** получит сигнал о восприятии стука кормушки **b**). Поэтому возникшая положительная эмоция, связанная с увеличением вероятности, закрепит все сработавшие нейроны и усилит все возбуждавшие соответствующие нейроны закономерности:

- «запуск» действия db по закономерности $a \Rightarrow db$;
- предвосхищение получения результата **b** после совершения действия db по закономерности $db \Rightarrow b$;
- активацию обратной афферентацией $\text{Res}(db)$ результата **b** по закономерности $db \& \text{Res}(db) \Rightarrow b$.

После получения условного стимула **a** и запуска действия db следующим пусковым стимулом будет уже стимул **b**, запускающий действие dc (подход к кормушке и восприятие хлеба), а этапным результатом будет результат **c** (восприятие хлеба). Новый этап действий приведет к выработке аналогичных закономерностей $b \Rightarrow dc$, $dc \Rightarrow c$, $dc \& \text{Res}(dc) \Rightarrow c$ (см. рис. 5). «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, предсказывающему по закономерности $\mathbf{a} \Rightarrow \mathbf{d}$ возможность достижения результата **d** с большей вероятностью, чем по закономерности $M \Rightarrow \mathbf{d}$.

Обстановочная афферентация $Обс(da)$, $Обс(db)$, $Обс(dc)$, $Обс(dd)$ представляет собой множество всех необходимых условий для успешного совершения каждого отдельного действия и достижения конечного результата в данной обстановке. Поэтому обстановочная афферентация $Обс(da)$, $Обс(db)$, $Обс(dc)$, $Обс(dd)$ автоматически включится в закономерности внутреннего контура работы мозга:

$$M \Rightarrow da \Rightarrow \mathbf{a} \Rightarrow db \Rightarrow \mathbf{b} \Rightarrow dc \Rightarrow \mathbf{c} \Rightarrow dd \Rightarrow \mathbf{d} \quad (1)$$

как «существенная» информация (повышающая условную вероятность прогноза) о необходимых условиях «запуска» каждого очередного действия. В результате выработки условного рефлекса будут обнаружены закономерности:

$$\begin{aligned} M \&Обс(da) \Rightarrow da, Обс(da) \&da \Rightarrow \mathbf{a}, Обс(da) \&da \&Res(da) \Rightarrow \mathbf{a} \\ \mathbf{a} \&Обс(db) \Rightarrow db, Обс(db) \&db \Rightarrow \mathbf{b}, Обс(db) \&db \&Res(db) \Rightarrow \mathbf{b} \\ \mathbf{b} \&Обс(dc) \Rightarrow dc, Обс(dc) \&dc \Rightarrow \mathbf{c}, Обс(dc) \&dc \&Res(dc) \Rightarrow \mathbf{c} \\ \mathbf{c} \&Обс(dd) \Rightarrow dd, Обс(dd) \&dd \Rightarrow \mathbf{d}, Обс(dd) \&dd \&Res(dd) \Rightarrow \mathbf{d} \end{aligned} \quad (2)$$

Мотивация M «извлекает из памяти» активацией \downarrow (см. подробнее далее) план действий (2) по достижению цели. Как видно из рис. 5, достижение цели представляет собой последовательность «блоков», каждый из которых начинается и заканчивается этапными результатами.

Этот блок действий является основополагающим и называется у Н. А. Бернштейна «рефлекторным кольцом», а в теории схем восприятия У. Найсера «перцептивным циклом».

Схемы на приведённых рисунках дают нам структуру и процесс функционирования формальной модели работы мозга, основанной на принципах целеполагания и предсказания.

11. Объяснение теории функциональных систем

Объясним на основе приведенных схем 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 осуществляется химически специфичной активацией \downarrow мотивацией M различных последовательностей действий вместе с их результатами (1), извлекаемыми мотивацией из памяти. Как видно из схемы (2) и рис. 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 межмпульсных интервалов носит характер, специфический для различного биологического качества мотиваций» [28; с. 170]. «Таким образом, пачкообразная ритмика центральных нейронов в условиях доминирующего пищевого мотивационного возбуждения отражает процессы ожидания пищевого подкрепления» [Там же; с. 182]. Такая активность является «воображением», позволяющим мотивации по имеющимся закономерностям формировать конкретную цель, акцептор результатов действий и план действий. Получение реальных результатов от обратной афферентации Res(da), Res(db), Res(dc), Res(dd), а не в «воображении» сразу же снимает специфическую активацию ↓ 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». [Там же; с. 180]. Из приведенных схем видно, что все этапы афферентного синтеза – мотивация, память, обстановочная и пусковая афферентации работают одновременно.

План действий. Акцептор результатов действия. Мотивация «извлекает из памяти» план действий (1). На стадии принятия решений из всех «извлеченных из памяти» планов действий выбирается один. Поскольку планы действий «извлекаются из памяти» до всяких действий, то активация закономерностей плана осуществляется в «воображении». Более точно план действий представляет собой последовательность закономерностей (1), которые активируются в «воображении» по внутреннему контуру работы мозга. По цепочке (1) происходит «опережение хода событий в отношениях между организмом и внешним миром». «Срабатывание» в «воображении» означает передачу этими закономерностями пачкообразной активности (но не регулярное возбуждение).

Но «срабатывание» нейронов a, b, c, d по закономерностям (1) не означает, что не будут ожидать обратные афферентации Res(da), Res(db), Res(dc), Res(dd) от результатов действий, включенные в более «точные» закономерности

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

тех же самых нейронов **a, b, c, d**. Более «точная» закономерность включает в себя менее «точную», как, например, закономерность $\text{Obc}(da)\&da\&\text{Res}(da) \Rightarrow \mathbf{a}$ включает в себя закономерность $\text{Obc}(da)\&da \Rightarrow \mathbf{a}$. В силу свойств семантического вероятностного вывода [7, 14], если нейроном обнаружена более «точная» закономерность, то всегда обнаружена и менее «точная». Более «точная» зако-

номерность имеет строго большую оценку предсказания и, кроме того, обратные афферентации $Res(da)$, $Res(db)$, $Res(dc)$, $Res(dd)$ от результатов действий имеют **регулярную** активность, что означает фактическое достижение результата. Но, как было объяснено ранее, закономерности (3) не просто являются более «точными», а сигнализируют о фактическом достижении результата, что снимает «пачкообразную» активность и переводит нейрон на регулярную активность, тем самым различая «воображение» и факт. Поэтому нейроны a , b , c , d , с одной стороны, передают пачкообразную активность в «воображении» по закономерностям (1) a , с другой стороны, ожидают обратную афферентацию $Res(da)$, $Res(db)$, $Res(dc)$, $Res(dd)$, требуемую более сильными закономерностями (3). Закономерностями (3) реализуется **акцентор результатов действия** – результатами действий должна быть афферентация $Res(da)$, $Res(db)$, $Res(dc)$, $Res(dd)$. В «воображении» действия da , db , dc , dd не активируются, однако по закономерностям:

$$\begin{aligned}
 M \& \text{Обс}(da) \Rightarrow da \\
 \text{Обс}(da) \& da \& \text{Res}(da) \Rightarrow \mathbf{a}, \mathbf{a} \& \text{Обс}(db) \Rightarrow db, \\
 \text{Обс}(db) \& db \& \text{Res}(db) \Rightarrow \mathbf{b}, \mathbf{b} \& \text{Обс}(dc) \Rightarrow dc, \\
 \text{Обс}(dc) \& dc \& \text{Res}(dc) \Rightarrow \mathbf{c}, \mathbf{c} \& \text{Обс}(dd) \Rightarrow dd, \\
 \text{Обс}(dd) \& dd \& \text{Res}(dd) \Rightarrow \mathbf{d}.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

они активируются, когда получены соответствующие результаты и «пачкообразная» активность переходит в регулярную. После получения результата $Res(da)$, на регулярную активность переходят нейроны a , db , после получения результата $Res(db)$, нейроны b , dc , после получения результата $Res(dc)$ нейроны c , dd и после получения результата $Res(dd)$ нейрон d .

Принятие решений осуществляется рассмотрением планов действий с помощью переключающей функции эмоций. На этой стадии реализуется ГЦО-принцип работы мозга. Мозг в «воображении» по закономерностям (1) и схеме рис. 5 «проигрывает» различные варианты достижения цели. «Проигрывая» различные планы действий, мозг пытается найти такой, который бы обеспечил, как требуемое качество цели, так и максимальную оценку вероятности предсказания. Вероятность прогноза оценивается не по плану (1). В разделе 7 аргументировалось, что принципиально не существует хороших методов пересчета вероятностей предсказания в логическом выводе, представленном планом (1). Мозг «обходит» любой логический вывод, находя одну вероятностную закономерность, предсказывающую конечный результат. Такой закономерностью в данном случае является закономерность:

$$M \& da \& \text{Обс}(da) \& db \& \text{Обс}(db) \& dc \& \text{Обс}(dc) \& dd \& \text{Обс}(dd) \Rightarrow \mathbf{d},
 \tag{5}$$

выработанная нейроном d . Эта закономерность является конъюнкцией всех условий закономерностей из (2), из которой удалены: обратная афферентация о достижении этапных результатов $Res(da)$, $Res(db)$, $Res(dc)$, $Res(dd)$ и этапные результаты a , b , c , d , в силу того, что они являются следствиями действий и не увеличивают в закономерности (5) вероятность достижения конечного результата. Поэтому вероятность оценивается закономерностью (5), учитываемой в

процессе принятия решений переключающей функции эмоций. План в процессе принятия решений должен будет «проигрывать» с целью обеспечения согласованности всех действий (и обеспечения его непротиворечивости, так как есть ещё тормозные закономерности).

Конкретная цель ставится активацией ↓ мотивацией М 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 (1). Так как результаты Res(da), Res(db), Res(dc), Res(dd) действий ещё не получены, то нейроны результатов a, b, c, d перейдут в состояние ожидания этих результатов в соответствии с закономерностями (3). 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). Если конкретная цель ставится всей совокупностью результатов a, b, c, d, как ожидание достижения этих результатов. Обратная афферентация от всей совокупности действий и есть акцептор результатов действия.

После совершения какого-либо действия мозг ожидает получение реального результата действий по внешнему контуру. После получения этого результата осуществляется «сличение предсказания с параметрами реального результата». Это сличение осуществляется закономерностями (3). «Сличение» состоит в том, что все эти закономерности должны «сработать», когда будет получена именно та обратная афферентация, которая записана в закономерности. Если при каком-то действии будет получена другая афферентация, то соответствующая закономерность из (3) не сможет «сработать», потому что условие закономерности не будет выполнено. В этом случае мы не достигнем этапного результата и соответствующего увеличения вероятности достижения конечного результата. В этом случае оценка вероятности достижения конечного результата становится неопределённой и немедленно возникнет ориентировочно-исследовательская реакция, которая своей активацией поможет скорректировать план действий.

12. Объяснение информационной теории эмоций

Формула эмоций. В формуле эмоций $\mathcal{E} = f[\Pi, (I_n - I_c), \dots]$ основной является разность $(I_n - I_c)$ – «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 закономерностей строго возрастает и, значит, разность $(I_n - I_c)$ увеличивается, что приводит к положительным эмоциям.

Замещающая функция эмоций. Как было сказано, 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 за счет повышения уровня возбудимости нейронов (срабатывании при более низком уровне условной вероятности) при усилении мотивации (сильный голод) и соответствующей отрицательной эмоции. В этом случае в соответствии с формальной моделью нейрона происходит активация вероятностных закономерностей, имеющих более низкий уровень условной вероятности, которые были обнаружены на более ранних этапах формирования функциональных систем. Эти вероятностные закономерности имеют меньшее число предикатов в условиях 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 «уточняет» вероятностные закономерности, то поднятие уровня возбудимости нейронов позволяет «срабатывать» старым, более «слабым» закономерностям (при неприменимости более сильных в новой или неожиданной обстановке), приводя, таким образом, к более генерализованным способам действий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анохин П. К. Системный анализ интегративной деятельности нейрона // П. К. Анохин. Очерки по физиологии функциональных систем. М.: Медицина, 1975. С. 444.
2. Анохин П. К. Проблема принятия решения в психологии и физиологии // Проблемы принятия решения. М.: Наука, 1976. С. 7–16.
3. Анохин П. К. Принципиальные вопросы теории функциональных систем // Философские аспекты теории функциональных систем. М.: Наука, 1978. С. 49–106.
4. Анохин П. К. Опережающее отражение действительности // Философские аспекты теории функциональных систем. М.: Наука, 1978. С. 7–27.
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. Анохин П. К. Эмоции // Большая медицинская энциклопедия т. 35, М. 1964.
7. 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. С. 19–49.
8. Витяев Е. Е. Целеполагание как принцип работы мозга // Модели когнитивных процессов. Новосибирск, 1997. Вып. 158. С. 9–52.
9. Витяев Е. Е. Вероятностное прогнозирование и предсказание как принцип работы мозга // Измерение и модели когнитивных процессов. Новосибирск, 1998. Вып. 162. С. 14–40.
10. Витяев Е. Е. Формальная модель работы мозга, основанная на принципе предсказания // Модели когнитивных процессов. Новосибирск, 1998. Вып. 164. С. 3–61.
11. Витяев Е. Е. Рефлексирующие и мыслящие программные системы // Рефлективное управление. (Международный симпозиум "Рефлективные процессы и управление" 8-10 октября 2001 года, г. Москва) / Сборник статей под ред. В. Е. Лепского. М.: Изд-во Института психологии РАН, 2000. 192 с.
12. Витяев Е. Е. Объяснение теории движений Н.А.Бернштейна // VII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2005» Сборник научных трудов. М.: МИФИ, Ч. 1., 2005. С. 234–240.

13. Витяев Е. Е. Логика работы мозга // Проблемы нейрокибернетики (материалы XIV-ой Международной конференции по нейрокибернетике). Том. 2. Ростов-на-Дону, 2005. С. 14–17.
14. Витяев Е.Е. Извлечение знаний из данных. Компьютерное познание. Модели когнитивных процессов: Моногр. // Новосибирский гос. ун-т. Новосибирск, 2006. 293 с.
15. Демин А. В., Витяев Е. Е. Реализация модели анимата на основе семантического вероятностного вывода // VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2006». М.: МИФИ, Сборник научных трудов. Том. 2, 2006. С. 16–24
16. Витяев Е. Е. Принятие решений. Переключающая и подкрепляющая функции эмоций // VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2006», М.: МИФИ, 2006. С. 24-30.
17. Гибсон Дж. Экологический подход к зрительному восприятию. М.: Прогресс, 1988. С. 462.
18. Гончаров С. С., Ершов Ю. Л., Самохвалов К. Ф. Введение в логику и методологию науки. Москва: Интерпракс, 1994. С. 255.
19. Ершов Ю. Л., Самохвалов К. Ф. О новом подходе к философии математики // Структурный анализ символических последовательностей. Новосибирск, 1984. Вып. 101. С. 141 - 148.
20. Ершов Ю. Л., Самохвалов К. Ф. Современная философия математики: недомогания и лечение. Институт математики СО РАН, «Параллель», Новосибирск, 2007, 142 с.
21. Кулаков Ю. И. Элементы теории физических структур. Новосибирск: НГУ, 1968. 215 с.
22. Кулаков Ю. И. Математическая формулировка теории физических структур // Сиб. мат. журн. 1971. Т. 12, № 5. С. 1142–1145.
23. Кулаков Ю. И. Новая формулировка теории физических структур // Методологические и технологические проблемы информационно-логических систем. Новосибирск, 1988. Вып. 125. С. 3–32.
24. Маслоу А.. Мотивация и личность. Издательство: Питер, 2008, 352 с.
25. Поляков Г. И. О принципах нейронной организации мозга // М.: МГУ, 1965. С. 165.
26. Симонов П. В. Эмоциональный мозг. М.: Наука, 1981. С. 140.
27. Симонов П. В. Высшая нервная деятельность человека (мотивационно-эмоциональные аспекты). М.: Наука, 1975. С. 173.
28. Судаков К. В. Общая теория функциональных систем М.: Медицина, 1984. С. 222.
29. Фейгенберг И. М. Вероятностное прогнозирование в деятельности мозга // Вопросы психологии, 1963. №2.
30. Фейгенберг И. М. Вероятностное прогнозирование и преднастройка к действиям. «XVIII Международный психологический конгресс. Симпозиум 2. Кибернетические аспекты интегральной деятельности мозга». М., 1966.
31. Van Emden M. N. Quantitative deduction and its fix-point theory // J. Logic Programming. 1986. Vol. 3, N 1. P. 37–53.
32. Gaifman H. Concerning measure in first order calculi // Israel Journal of Math. 1964. Vol. 2, N 1. P. 1–18.
33. Goncharov S. S., Ershov Yu. L., Sviridenko D. I. Semantic programming // 10th World Congress Information Processing 86, Dublin, Oct., 1986. Amsterdam, 1986. P. 1093–1100.
34. Hailperin T. Probability logic // Notre Dame J. of Formal Logic. 1984. Vol. 25, N 3. P. 198–212.
35. Halpern J. Y. An analysis of first-order logic of probability // Artificial Intelligence. 1990. Vol. 46. P. 311–350.
36. Kifer M., Subrahmanian V.S. Theory of Generalized Annotated Logic Programming and its Applications. Research Report, University of Maryland, USA. 1990.
37. Nilsson N. J. Probability logic // Artif. Intell. Vol. 28, N 1. P. 71–87.
38. Scott D.S., Krauss P. Assigning probabilities to logical formulas // Aspects of Inductive

Витяев Е.Е.

- Logic, (ed. J.Hintikka, P.Suppe), N. Holland. 1966. P. 219–264.
39. 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.
 40. Ng R.T., Subrahmanian V.S. Annotation Variables and Formulas in Probabilistic Logic Programming. Technical report CS TR-2563, University of Maryland, 1990.
 41. Vityaev E. The logic of prediction // Mathematical Logic in Asia. Proceedings of the 9th Asian Logic Conference (August 16-19, 2005, Novosibirsk, Russia), World Scientific, Singapore, 2006. P. 263–276.

Статья поступила 24 сентября 2008 г.