

УДК 004.81

ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОСТЬ КАК ПРИНЦИП РАБОТЫ МОЗГА

© 2014 г. Е.Е. Витяев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт математики им. С.Л. Соболева
Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия;
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский
государственный университет», Новосибирск, Россия,
e-mail: vityaev@math.nsc.ru

Поступила в редакцию 26 мая 2014 г. Принята к публикации 31 октября 2014 г.

В работе рассматриваются два взаимосвязанных понятия: «цель» и «задача». К.Ф. Самохвалов и Ю.Л. Ершов в монографии «Современная философия математики» показывают, что существующие проблемы в основаниях математики связаны с недостаточной точностью определения понятия *задача*. Мы имеем постановку задачи тогда и только тогда, когда мы имеем критерий проверки доказательства задачи. В их работе было доказано, что только в «слабых» формальных системах, где не проходит теорема Геделя о неполноте, можно средствами самой системы определить, является ли предъявленное решение задачи действительно ее решением или нет. Этот результат позволяет предложить новый подход к программе Гильберта обоснования математики. Аналогичные рассмотрения мы проводим относительно понятия цели в когнитивных и физиологических науках. Нельзя достичь цели без критерия ее достижения, иначе можно считать, что цель уже достигнута. Определение цели дает возможность определить понятие результата достижения цели – это то, что мы получим, когда цель будет достигнута и критерий достижения цели сработает. Теория функциональных систем (ТФС), разработанная П.К. Анохиным и многими другими знаменитыми учеными его школы, является единственной известной теорией, в которой понятия цели, результата и целенаправленной деятельности – центральные понятия теории и где физиологические механизмы их реализации тщательно исследованы. Следовательно, ТФС – физиологическая теория работы мозга, в которой целеполагание является принципом работы мозга. Мы приводим описание ТФС как теории целенаправленной деятельности.

Ключевые слова: целеполагание, мозг, когнитивные модели, теория функциональных систем, поведение.

ВВЕДЕНИЕ

Следуя Е.Е. Витяеву (Vityaev, 1997, 2008), устанавливается взаимосвязь двух понятий: задача и цель. В разделе «Понятия задачи и основания математики» понятие «задача» анализируется с точки зрения оснований математики и показывается, что существующие проблемы в основаниях математики связаны с недостаточно четкой формулировкой понятия «задача». Мы имеем математическую задачу только тогда, когда у нас есть критерий проверки того, что предъявленное доказательство решения зада-

чи действительно является решением задачи. К. Самохваловым и Ю. Ершовым в монографии по основаниям математики (Ершов, Самохвалов, 2007) было доказано, что только в «слабых» формальных системах, в которых не проходит теорема Геделя о неполноте, мы всегда в состоянии средствами самой формальной системы определить, является ли некоторый текст доказательством решения задачи или нет. Это позволяет сформулировать новый подход к основаниям математики и программе Гильберта обоснования математики: «математические теории могут рассматриваться только как резервуар

для слабых формальных систем, которые извлекаются из всей теории для решения конкретных задач» (Ершов, Самохвалов, 1984).

В разделе «Цель и целенаправленная деятельность» показывается, что аналогичная ситуация возникает с понятием цели в когнитивных науках и физиологии. Цель нельзя достичь, не имея критерия ее достижения, иначе всегда можно считать, что цель уже достигнута. Определение цели парадоксально, так как оно принципиально не предполагает знание о том, как, чем и когда можно достичь цели. Действие всегда целенаправленно. Если нет цели действия, то непонятно, когда и чем его надо завершить. Цель действия – изменить текущее состояние и/или внешние воздействия. Целенаправленная деятельность состоит в организации такой деятельности, которая может удовлетворить некоторую потребность организма. Определение цели позволяет дать определение результата достижения цели как то, что мы получим при достижении цели и удовлетворении критерия. Мы пьем воду, утоляя жажду, едим пищу, утоляя голод и т. д.

Теория функциональных систем (ТФС), разработанная П.К. Анохиным и многими другими выдающимися учеными его школы, – единственная на данный момент теория, в которой понятия цели, результата и целенаправленной деятельности являются центральными и в которой выявляются физиологические механизмы реализации этих понятий. В ТФС подробно исследовано, как мозг в процессе целенаправленной деятельности постоянно разрешает парадокс цели, определяя, чем, как и когда можно достичь цели. Поэтому ТФС – физиологическая теория работы мозга, в которой целенаправленность является принципом его работы. В последующих разделах с этой точки зрения дается изложение ТФС.

ПОНЯТИЯ «ЗАДАЧИ» И «ОСНОВАНИЯ МАТЕМАТИКИ»

Рассмотрим анализ понятия «желания», приведенный в тексте Ершова и Самохвалова (1984). Несмотря на общность приводимых ниже рассуждений, математический результат и пересмотр оснований математики, полученный этими авторами, являются непосредственной и точной их формализацией.

«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? ... 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 ... 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 ... 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 ...» (цит. по: Ершов, Самохвалов, 1984. С. 142, 143).

Данное рассуждение позволяет уточнить понятие 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» (цит. по: Ершов, Самохвалов, 1984. С. 143). 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 ее решением, возникает, когда это изложение является доказательством решения задачи. Доказательство дает 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 был проанализирован в статье Ершова, Самохвалова (1984) и было доказано, что только в «слабых» формальных системах, в которых не проходит теорема Гедделя о неполноте, мы в состоянии средствами самой формальной системы всегда определить, является ли некоторый текст доказательством решения некоторой задачи или нет.

Этот результат позволил ее авторам сформулировать новый подход к основаниям математики, состоящий в радикальном изменении программы Гильберта обоснования математики. «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

сти “извлекаемых” из всей теории в зависимости от той или иной имеющейся задачи. Сама по себе, безотносительно к возможным задачам, ... теория не имеет практического значения, и поэтому не представляет самостоятельного интереса вопрос, противоречива она в целом или нет» (цит. по: Ершов, Самохвалов, 1984. С. 141).

Но нас интересуют не только математические задачи. Рассмотрим еще 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» (цит. по: Ершов, Самохвалов, 1984. С. 143). Переформулируем понятие задачи так, чтобы не апеллировать к состояниям сознания. Будем говорить, что задача осмысленна тогда и только тогда, когда мы имеем критерий решенности задачи в том смысле, что для каждого предполагаемого решения мы в состоянии всегда определить, является ли оно решением или нет. Задачи в этом смысле возникают не только в математике, но и во многих других областях, и поэтому во всех этих случаях следует иметь в виду, что всегда необходим критерий решения задачи. Оказывается, что с понятием «задача» в этом смысле связана и целенаправленная деятельность.

ЦЕЛЬ И ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Желание не пассивно. Нет смысла желать что-то, если нет никакой возможности своей активностью или действиями приблизиться к удовлетворению желания. Есть организмы: кораллы, растения, которые не имеют возможности проявить свою активность и тем самым как-то приблизить момент удовлетворения желания. Есть ли у них осознание желания или какой-либо потребности, или они просто заняты переработкой того, что к ним поступает само собой?

Желание активно – оно заставляет организм проявить свою активность в деятельности с целью удовлетворения своего желания. Тогда возникает понятие цели. Цель нельзя достичь, не имея критерия ее достижения, иначе всегда

можно считать, что цель уже достигнута. Критерием достижения цели является удовлетворение желания. Понятие цели является более общим, чем понятие задачи. Целью задачи является ее решение, и критерием достижения этой цели является критерий решенности задачи.

Определим *цель* как активность/деятельность, направленную на удовлетворение некоторого критерия. Определение цели не имеет смысла без критерия ее достижения, так как мы должны убедиться, что критерий не удовлетворен уже сейчас и значит, цель как то, чего нет сейчас и чего мы хотим достичь, имеет смысл ставить. Такое определение цели позволяет определить *результат* достижения ее как все то, что мы получаем при удовлетворении критерия и достижении цели (удовлетворения желания). Мы пьем воду, когда удовлетворяем жажду, едим пищу, удовлетворяя голод, дышим, когда не хватает воздуха и т. д. Между понятиями цели и результата имеется следующая связь: результат получен, когда цель достигнута и «срабатывает» критерий наличия. Но когда цель ставится, мы имеем цель, но не имеем результата.

Определение цели парадоксально, так как активность/деятельность по удовлетворению некоторого критерия принципиально не предполагает знание о том, как достичь цели, можно задать цель, не определяя ни как ее достичь, ни чем, ни когда. Эту парадоксальность понятия цели назовем *парадоксом цели*. Как мы увидим из теории функциональных систем, деятельность мозга в целенаправленном поведении постоянно направлена на разрешение парадокса цели и определения, чем, как и когда можно достичь цели.

Действие всегда целенаправленно. Если нет цели действия, то непонятно, когда (и чем) оно должно завершиться. Смысл активности и деятельности – изменить текущее состояние и/или внешние воздействия с целью достижения чего-то. Целенаправленная деятельность имеет целью удовлетворение некоторой потребности (желания) организма. Перейдем к изложению теории функциональных систем, в которой понятия цели, результата и целенаправленной деятельности являются центральными и где анализируются физиологические механизмы цели, результата и целенаправленной деятельности.

ТЕОРИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ РАБОТЫ МОЗГА

Теория функциональных систем (ТФС) – есть теория работы мозга как системы для достижения целей и разрешения парадокса цели. Поэтому изложим теорию функциональных систем как теорию разрешения мозгом парадокса цели, которая описывает, как мозг определяет: чем, как и когда можно достичь цели.

П.К. Анохин 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» (Anokhin, 1973; Анохин, 1976. С. 13). Это определение схоже с формулировкой понятия задачи, приведенной в статье Ершова, Самохвалова (1984). Такое понимание задачи и результата является принципиальным достижением ТФС и выделяет ее среди остальных известных теорий. «Пожалуй, одним из самых драматических моментов в истории изучения мозга как интегративного образования является фиксация внимания на самом действии, а не на его результатах ... мы можем считать, что результатом “хватательного рефлекса” будет не само хватание как действие, а та совокупность афферентных раздражений, которая соответствует признакам “схваченного” предмета (результат действия)» (Anokhin, 1974; цит. по: Судаков, 1984. С. 27).

«Наиболее значительным, по нашему мнению, моментом (в истории развития понятия функциональной системы. – Е.В.) является формирование понятия “результат действия” (в 1966 г.). П.К. Анохин теперь уже пишет о результатах действия как о самостоятельной физиологической категории» (Там же. 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» (Там же. С. 28). Понятие результата действия физиологически фиксирует критерий достижения цели. Драматическая

ситуация в изучении мозга, о которой пишет П.К. Анохин, продолжается до сих пор, так как никакая другая теория не исследует механизмы достижения результата в этом смысле.

Кратко изложим теорию функциональных систем по монографии К.В. Судакова (1984) – одного из ведущих учеников П.К. Анохина. В этой работе подводится итог не только работ самого П.К. Анохина, но и всей его школы. Прежде всего, рассмотрим, каковы физиологические механизмы постановок целей организмом. Здесь наблюдается любопытная аналогия между физиологическими механизмами и математическим результатом, полученным Ершовым и Самохваловым (1984). Как отмечено в этой статье, «для решения любой осмысленной задачи мы не имеем права выделить из какой-нибудь теории столь большой фрагмент, чтобы он не был слабой системой». В теории функциональных систем такими «фрагментами» являются функциональные системы организма, формирующиеся для решения стоящей перед организмом задачи.

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.» ... «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» (Anokhin, 1974; цит. по: Судаков, 1984. С. 19).

Таким образом, единицами деятельности организма являются не отдельные органы, а функции организма. Выполнение какой-либо функции организма – это и есть задача деятельности организма.

Как мы знаем, цель (задача) осмысленна, если есть критерий достижения цели. Функции организма также должны приводить к достижению некоторых целей, которые фиксируются как некоторый результат. «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» (Там же. С. 34, 35).

Таким образом, единицы деятельности организма – функциональные системы – являются объединениями различных органов с целью достижения некоторых полезных для организма результатов и тем самым определяются этими результатами.

Достижение результата должно некоторым образом фиксироваться, так как результат есть срабатывание некоторого критерия. Чем физиологически является критерий, фиксирующий достижение результата? Физиологически он реализуется «специальным рецепторным аппаратом».

«Каждая *потребность*, даже при незначительном отклонении жизненно важной функции от оптимального для метаболизма уровня, немедленно воспринимается специальными *рецепторными аппаратами*» (Там же. С. 43). «Наличие рецепторов в каждой функциональной системе, «стоящих на страже» конечного приспособительного результата, является исходным пунктом в механизмах саморегуляции. Меньшее отклонение результата от оптимального для метаболизма уровня вызывает меньшее возбуждение рецепторов и, соответственно, меньшую сигнализацию в нервную систему» (Там же. С. 44).

Таким образом, результатом 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 достижении цели названа в ТФС обратной афферентацией.

«...Сигнализация о потребности несет двоякую функцию. С одной стороны, она играет пусковую роль, возбуждая специальные аппараты саморегуляции, а с другой – постоянно информирует эти же центры о результатах действий, совершенных функциональной сис-

темой. Поскольку эта сигнализация заключает в себе информацию о конечном результате, о его отклонениях от оптимального для метаболизма уровня или восстановлении ... она была названа *обратной афферентацией*» (Там же. С. 45).

Теперь мы можем объяснить в рамках ТФС, как физиологически осуществляется постановка задач и целей организмом. Целью в ТФС является потребность организма. «Двойная функция потребности» означает, что перед организмом ставится цель, во-первых, по восстановлению нарушенного метаболизма и, во-вторых, по энергетическому обеспечению достижения цели. 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 неудовлетворении критерия в данный момент, то возникает потребность, которая ставит перед организмом цель: удовлетворить соответствующую потребность. В этом случае цель и критерий ее достижения, во-первых, сигнализируют посредством обратной афферентации об отсутствии этого наличия в данный момент (об отсутствии нормального уровня некоторого показателя), что, собственно, и означает наличие потребности; во-вторых, ставят цель как ожидание получения сигнализации о восстановлении нормального уровня некоторого показателя и достижения результата, и, в-третьих, энергетически обеспечивают и фактически вынуждают организм достичь цели. Таким образом, физиологическим механизмом целеполагания и является возникновение потребности. Таким образом, потребность и есть цель, ставящаяся перед организмом. В ТФС понятия потребности и результата являются связанными. В нашем определении понятия потребности и результата объединяются понятием цели и результат есть лишь фиксация достижения цели и удовлетворения потребности.

Взаимодействие различных результатов и целей в ТФС осуществляется несколькими способами: по «принципу доминанты», «иерархией результатов» и «моделями результатов».

Рассмотрим «принцип доминанты». Этот принцип говорит о том, что две цели одновременно достигаться не могут. «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, ее рода или вида. Она возбуждает доминирующую функциональную систему и строит поведенческий акт, направленный на ее удовлетворение. Удовлетворение ведущей потребности приводит к тому, что начинает доминировать другая важная для сохранения вида или рода потребность» (Anokhin, 1974; цит. по: Судаков, 1984. С. 40).

Тем самым наиболее важные для организма цели – доминирующие потребности всегда линейно упорядочены во времени. Рассмотрим теперь, как функциональные системы взаимодействуют в некоторый момент времени. По отношению 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 действий, когда результат деятельности одной функциональной системы входит в качестве компонента в результат деятельности другой» (Там же. 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, как формируется иерархия результатов. Если у кролика доминирует функциональная система добывания пищи, то 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 и т. д. Все

это приводит к сдвигу от нормального уровня целого ряда физиологических констант организма, что фиксируется рецепторами 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 активирует функциональные системы, целью которых является обеспечение нормального уровня физиологических показателей, участвующих в достижении доминирующей потребности.

ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ТФС И ПАРАДОКС ЦЕЛИ

Функциональные системы можно условно разбить на две группы: требующие обращения к внешней среде для достижения результата и не требующие такого обращения. К первым относятся пищедобывательная 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» (Anokhin, 1974; цит. по: Судаков, 1984. 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 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 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 нечего

добавить кроме того, что было сказано в предыдущем разделе «Теория функциональных систем работы мозга». А для функциональных систем первого типа, имеющих дело со сложной внешней средой, требующей обучения, необходимо еще ответить на главный вопрос: как мозг разрешает парадокс цели и определяет, чем, как и когда можно достичь цели. Для этого в ТФС вводится целая серия новых понятий для описания целенаправленного поведения.

Различие между функциональными системами первого и второго типа хорошо иллюстрируется следующим примером: «Возникшее на основе той или иной биологической потребности поведение новорожденного животного строится в полном смысле слова методом “проб и ошибок” ... Поражает направленный поиск новорожденным специальных раздражителей внешней среды, с которыми он никогда не встречался. Следовательно, они должны иметь врожденные модели, в которых запрограммированы свойства удовлетворяющих эти потребности раздражителей, с которыми осуществляется постоянное сравнение достигнутых результатов» (Anokhin, 1974; цит. по: Судаков, 1984. 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). Поэтому сразу после рождения целенаправленное поведение также строится с использованием генетически заложенных форм поведения по «поиску специальных раздражителей внешней среды». Но генетически определяются только требуемая последовательность результатов и некоторый максимально общий способ поведения типа «метода проб и ошибок». Совершенствование и развитие деятельности уже происходит в процессе обучения. «Однако по мере неоднократного удовлетворения животным однотипной потребности механизмы генетической памяти все в большей степени начинают обогащаться индивидуальным опытом данного животного» (Там же. С. 74). «Согласно П.К. Анохину, центральные механизмы функциональных систем, обеспечивающих целенаправленные поведенческие акты, имеют однотипную архитектуру» (Там же). Рассмотрим подробно архитектуру целенаправленной деятельности

и физиологические механизмы разрешения парадокса цели.

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 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. 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, стоящих «на страже» некоторой физиологической константы – это возбуждение «центральных мозговых структур», инициируемое возникшей потребностью. Мотивационное возбуждение и есть цель, ставящаяся перед организмом в случае целенаправленного поведения. Как и для потребностей, мотивационное возбуждение не только ставит цель, но 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» (Там же. С. 91).

При целенаправленной деятельности достижение результата и действие подкрепляющего стимула субъективно ощущаются появлением положительной эмоции (ликвидацией отрицательной). Целенаправленному поведению надо обучаться, поэтому надо запоминать ту последовательность возбуждений, которая привела к достижению результата. Положительные эмоции (ликвидация отрицательных) имеют, поэтому, еще и подкрепляющую (санкционирующую) роль, которая фиксирует в памяти всю последовательность действий, приведших к достижению цели.

Память. Память – второй компонент афферентного синтеза. Как уже отмечалось, при действии подкрепляющего раздражителя, означающего факт достижения результата, закрепляется вся последовательность возбуждений, которая привела к достижению цели. «... Извлечение прошлого опыта из памяти происходит по той же нейрохимической трассе, по которой он был зафиксирован в момент приобретения опыта» (Anokhin, 1974; цит. по: Судаков, 1984. С. 91).

При подкреплении фиксируется вся последовательность возбуждений, которая привела к достижению 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 именно этой цели, которая ставится 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» (Там же. С. 79, 80).

Обстановочная афферентация. При фиксации следа в памяти 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 делать в данной обстановке для достижения цели.

Пусковая афферентация. Четвертым компонентом афферентного синтеза является пусковая афферентация. По смыслу она так же 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 и где можно достичь результата.

Таким образом, на стадии афферентного синтеза в значительной степени разрешается парадокс цели и определяется, что, как, где и когда можно делать для достижения цели. «Итак, на стадии афферентного синтеза решаются несколько вопросов: что 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, мотивационное возбуждение как цель, с учетом имеющегося опыта и обстановки, автоматически разрешает парадокс цели и определяет, чем, как и когда ее можно 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 РЕШЕНИЙ

На стадии афферентного синтеза мотивационным возбуждением из памяти может быть извлечено несколько способов достижения цели. На стадии принятия решения выбирается только один способ – конкретный *план действий*. «В

соответствии с исходной потребностью на стадии принятия решения избирается только одна конкретная линия поведения» (Anokhin, 1974; цит. по: Судаков, 1984. С. 80).

Принятие решений – очень тонкий процесс и должен учитывать:

- вероятность достижения цели в данной ситуации (Симонов, 1981, 1985);

- суммарные энергетические затраты того или иного способа достижения цели с учетом информационной определенности возможности достижения цели (переключающая функция эмоций) (Там же);

- объем извлеченного из памяти опыта, включая доминантные (генетически определенные) формы поведения в случае, когда имеющегося опыта недостаточно для принятия решения (компенсаторная функция эмоций) (Там же).

АКЦЕПТОР РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕЙСТВИЯ

Пусть выбран некоторый план действий. Он еще не гарантирует нам, что конечный результат обязательно будет достигнут. И даже не гарантирует, что любой промежуточный результат также будет достигнут. Цель может быть достигнута, 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 при выполнении плана действий. Эта последовательность и иерархия результатов определяются в ТФС как *акцептор результатов действия*. «Именно доминирующая мотивация “вытягивает” в аппарате акцептора результатов действия весь накопленный опыт до конечного, удовлетворяющего лежащую в ее основе потребность результата, создавая определенную модель или программу поведения. 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» (Anokhin, 1974; Судаков, 1984). «... следует отметить, что в акцепторе результатов действия программируется не только континuum результатов поведения, но и вся мозаика

действий, направленная на достижение каждого результата» (Там же. С. 84).

Таким образом, мотивационное возбуждение, преобразуясь в конкретную цель, извлекает из памяти также и *конкретный результат* этой конкретной цели, которым являются вся последовательность и иерархия результатов, которые должны быть получены в процессе достижения конкретной цели и выполнения плана действий, т. е. акцептор результатов действия. Поэтому акцептор результатов действия есть конкретный результат 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), удовлетворяющую доминирующую потребность, – аппарата акцептора результатов действия» (Там же). «Итак, формирование предвидения будущего результата в функциональных системах – акцептора результатов действия – представляет собой физиологический аппарат формирования цели» (Там же).

Определение цели П.К. Анохиным и наше определение конкретной цели различаются: во-первых, мотивационное возбуждение у П.К. Анохина не участвует в определении цели, во-вторых, под целью П.К. Анохин понимает не только сам результат и «всю мозаику действий», но и его предвидение. Предвидение здесь понимается 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» (Анохин, 1978). Фактически оба смысла объединяются в понятии предвидения – это и ожидание результата, и его предвидение. В нашем определении акцептора результатов действия как конкретной цели понятие предвидения не обязательно.

Преобразование мотивационного возбуждения как цели в конкретную цель, а плана действий – в конкретный результат (акцептор результатов действия), преобразует первоначальную парадоксальную цель, для которой не определено, чем, как и когда достигать цель, в непарадоксальную конкретную цель, в которой конечная цель (и результат) разбиты на подцели

(и подрезультаты) так, что для каждой подцели уже известно, чем, как и когда ее можно достичь. Но парадоксальность определения цели этим полностью не снимается, так как даже если мы знаем по прошлому опыту, что цель (результат) достигается таким-то действием, то у нас нет, и в принципе не может быть никакой гарантии, что и в этот раз данное действие приведет к этому же результату. Приведет ли некоторая последовательность действий к результату или не приведет, все равно должно быть проверено некоторым критерием, который в данном случае является акцептором результатов действия.

ЭФФЕКТОРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Как выполняется план действий? «Стадия формирования акцептора результатов действия динамически последовательно сменяется формированием самого целенаправленного действия. Однако ему предшествует стадия, когда действие уже сформировано как центральный процесс, но внешне еще не реализуется... По-видимому, наиболее удачно отражает семантический смысл этой стадии название “стадия эфферентного синтеза”. На этой стадии за счет центральных возбуждений осуществляется динамическое объединение соматических и вегетативных функций в целостный поведенческий акт» (Anokhin, 1974; цит. по: Судаков, 1984. С. 88).

Так как реальная ситуация всегда чем-то отличается от тех ситуаций, которые были извлечены из памяти и учтены в процессе принятия решений, то неизбежно могут возникать «рассогласования» между ожидаемыми результатами и реально поступающей обратной афферентацией о результатах совершенных действий. «Оценка результата действия происходит с помощью активной *ориентировочно-исследовательской деятельности* (Анохин, 1979) 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» (Anokhin, 1974; цит. по: Судаков, 1984. С. 90, 91).

Заметим, что при рассогласовании поступающей «обратной афферентации» с ожидаемой акцептором результатов действия афферентацией происходит перестройка афферентного синтеза и принимается новое решение, что означает формирование новой конкретной цели, хотя мотивационное возбуждение и соответствующая конечная цель остаются без изменений.

«Целенаправленный поведенческий акт, таким образом, 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» (Anokhin, 1974; цит. по: Судаков, 1984. С. 89, 90).

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

Таким образом, в работе проведена параллель между понятием *задача* в основаниях математики и понятием *цель* и целенаправленного поведения в теории функциональных систем. Эта параллель позволяет рассматривать теорию функциональных систем как теорию решения мозгом задач по удовлетворению потребностей во внешнем мире.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционных проектов СО РАН № 136, 86 и Совета по грантам Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ (проект НШ-860.2014.1).

ЛИТЕРАТУРА

Анохин П.К. Проблема принятия решения в психологии и физиологии // Проблемы принятия решения. М.: Наука, 1976. С. 7–16.

- Anokhin P.K. The decision problem in psychology and physiology // Problems of decision. Moscow: Nauka, 1976. P. 7–16. (In Russian).
- Анохин П.К. Опережающее отражение действительности // Избр. тр. Философские аспекты теории функциональной системы. М.: Наука, 1978. С. 7–26.
- Anokhin P.K. Anticipatory reflection of reality // Selected works. Philosophical aspects of the functional system theory. Moscow: Nauka, 1978. P. 7–26. (In Russian).
- 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.
- Anokhin P.K. The role of the exploratory-orienting reaction in conditional reflex formation // Anokhin P.K. Systemic mechanisms of the higher nervous activity: Selected works. Moscow: Nauka, 1979. P. 338–352. (In Russian).
- Ершов Ю.Л., Самохвалов К.Ф. О новом подходе к философии математики // Структурный анализ символических последовательностей. Новосибирск, 1984. Вып. 101. Вычислительные системы. С. 141–148.
- Ershov Y.L., Samokhvalov K.F. A new approach to the philosophy of mathematics // Structural analysis of symbolic sequences, (Computer systems: issue 101). Novosibirsk, 1984. P. 141–148. (In Russian).
- Ершов Ю.Л., Самохвалов К.Ф. Современная философия математики: недомогания и лечение. Институт математики СО РАН. Новосибирск: «Параллель», 2007. 142 с.
- Ershov Y.L., Samokhvalov K.F. Contemporary philosophy of mathematics: uneasiness and treatment. Novosibirsk: Sobolev Institute of Mathematics SB RAS. Novosibirsk: «Parallel», 2007. 142 p. (In Russian).
- Симонов П.В. Высшая нервная деятельность человека (мотивационно-эмоциональные аспекты). М.: Наука, 1975. 173 с.
- Simonov P.V. Higher nervous activity of humans (motivation-emotional facets). Moscow: Nauka, 1975. P. 173. (In Russian).
- Симонов П.В. Эмоциональный мозг. М.: Наука, 1981. 140 с.
- Simonov P.V. Emotional brain. Moscow: Nauka, 1981. P. 140. (In Russian).
- Судаков К.В. Общая теория функциональных систем М.: Медицина, 1984. С. 222.
- Sudakov K.V. General theory of functional systems. Moscow: Medicine, 1984. P. 222. (In Russian).
- Anokhin P.K., Functional system // Dictionary of Behavioral Science. N.Y.: a.o. 1973. 153 p.
- Anokhin P.K. Biology and neurophysiology of the conditioned reflex and its role in adaptive behavior. Oxford a.o.: Pergamon press, 1974. 574 p.
- Vityaev E.E. Purposefulness as the principle of brain activity // Models of cognitive processes. (Computational Systems, V. 158) // Proc. of the Sobolev Institute of Mathematics. Novosibirsk, 1997. P. 9–52. (in Russ.).
- Vityaev E.E. Principles of brain activity, contained in the functional systems theory P.K. Anokhina and emotional theory of P.V. Simonov // Neuroinformatics. 2008. V. 3. No. 1. P. 25–78 (in Russian). <http://www.niisi.ru/iont/ni/Journal/V3/N1/Vityaev.pdf>

PURPOSEFULNESS AS THE PRINCIPLE OF BRAIN ACTIVITY AND FUNCTIONAL SYSTEMS THEORY

E.E. Vityaev

Sobolev Institute of Mathematics SB RAS, Novosibirsk, Russia;
Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia,
e-mail: vityaev@math.nsc.ru

Summary

Two cognate notions are considered: *task* and *purpose*. It was argued by K. Samokhvalov and Y. Ershov in their «Contemporary philosophy of mathematics» that current problems in the foundations of mathematics are a consequence of the insufficient precision of the task notion. We set a mathematical task if we have criteria of verification of the task proof. It was proven that only in «weak» formal systems, where Gödel's incompleteness theorem cannot be applied, we can check whether a presented text is a proof of that task or not, using only capabilities of the system itself. This result produces a new approach to D. Hilbert's program of mathematics justification. We present similar considerations about the notion of purpose (goal), but only in cognitive and physiological sciences. We cannot achieve a goal without criteria of its achievement; otherwise, we can assume that the goal has already been achieved. The purpose definition implies the definition of the result of the purpose achievement: it is what we will get when the purpose is achieved and the criteria of achievement are satisfied. The functional systems theory (FST), developed by P.K. Anokhin and many other famous scientists of his school, is the only known theory, where notions of *purpose*, *result* and *purposeful activity* are the central notions and where the physiological mechanisms of their realizations are carefully investigated. Hence, FST is a physiological theory of brain activity, where purposefulness is the principle of its activity. We describe FST as the theory of purposeful activity.

Key words: purposefulness, brain, cognitive model, functional systems theory, behavior.