

УДК 62.506.2

*С. Ф. МАРЧЕНКО*

**БИОНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТОВ  
САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СИСТЕМ**

Одной из причин несовершенства разрабатываемых человеком технических систем являются несовершенные знания. Это несовершенство компенсируется обычно самим человеком в процессе эксплуатации систем (настройка, управление, ремонт, выбор соответствующих условий среды и т. п.). Чтобы функционирование системы оставалось эффективным в непредвиденных знаниями ситуациях и при минимальном участии человека, она должна обладать возможностью самостоятельно выявлять и устранять несоответствия структурно-функциональных характеристик системы и среды в процессе их взаимодействия при достижении определенного результата. Другими словами, задача состоит в том, чтобы несовершенство создаваемых систем, которое часто является непреодолимым в процессе разработки, автоматически компенсиро-

алось адаптивными процессами самокоррекции, самоуправления, самонастройки, самоорганизации и т. п.

Варианты таких систем в настоящее время разрабатываются в основном на базе современной технологии и кибернетических концепций. Однако в этом отношении мы находимся еще очень далеко от желаемых решений. Современный этап кибернетических исследований характеризуется поиском эффективных путей, генеральной линии разработок адаптивных систем.

Одним из таких путей является бионическая концепция, в основе которой лежит представление о том, что поиски решения технических задач могут быть гораздо эффективнее при условии использования опыта природы в аналогичных ситуациях. Однако накопленный за последнее время опыт в развивающихся бионических представлениях убеждает в наличии здесь серьезных препятствий объективного характера. Одним из них является способ представления результатов исследований биологических систем. Во-первых, они носят обычно описательный характер. Во-вторых, несмотря на указания основоположников кибернетики на общность процессов управления и преобразования информации в живых организмах и машинах, сама суть кибернетических процессов и их механизмов в биосистемах долгое время оставалась нераскрытой. Эти выводы следуют из анализа результатов бионических исследований, полученных до последнего времени.

Так, в работах нейробионического направления самое сильное предположение состоит в том, что достаточно сконструировать систему, элементы которой и характер их связей будут аналогичны в определенном отношении соответствующим прототипом, как такая система автоматически будет обладать свойствами целостных структур нервной системы или даже мозга в целом. Однако достаточно убедительных теоретических или экспериментальных доказательств истинности этого предположения найдено не было, и мы до сих пор не можем с уверенностью сказать, какие свойства элементов мозга и даже какие образования в функциональном отношении являются этими элементами и какие характеристики их связей необходимо учитывать при разработке мозгоподобных машин.

В рамках этого предположения развиваются представления о пороговых, частотных свойствах нейронов, геометрических особенностях их дендритов, изменяемых весах входов, представления о перцептронных схемах, о нейронных ансамблях и сетях с вероятностной и детерминированной структурой, рецепторных полях различного уровня сложности и др. Некоторые из этих представлений получили теоретическое развитие в соответствующих научных концепциях (работы У. Мак-Каллока, М. Минского и С. Пейперта, Н. М. Амосова, А. Б. Когана, В. Д. Глезера и др.). Другие носили в основном характер инженерного поиска, в рамках которого предложено множество моделей нейронов и нейроподобных сетей различного типа.

В последнее время развитие нейробионических разработок было стимулировано роботной проблематикой и проблемами искусственного интеллекта. Эти проблемы порождены потребностями в автоматизации производства с часто меняющейся технологией и ассортиментом выпускаемой продукции, когда условия и цели функционирования автоматических систем заранее не могут быть полностью определены. В бионическом плане эти направления в настоящее время находятся в стадии развития, теоретических и лабораторных разработок. Имеющиеся уже промышленные варианты разработаны традиционными инженерными методами.

Одной из серьезных причин малоэффективности существующих бионических разработок является и то, что используемые данные о биологических прототипах имеют обычно сугубо аналитический характер и оказываются недостаточными. Попытки физиологов восполнить этот недостаток в системных представлениях о целостном характере функционирования биологических систем (П. К. Анохин, Л. фон Берталанфи и др.) носят полемический характер и пока не являются конструктивными.

В поисках принципов адаптивного функционирования автоматических систем возникло еще одно направление, базирующееся на представлениях о самоорганизации. Результаты исследований в этой области появляются спонтанно, поэтому невозможно судить о его истинных достижениях. Существующие представления, по-видимому, не выходят за рамки работ, изложенных в двух сборниках [4, 5]. Суть их за редким исключением сводится к тому, что почти все они апеллируют к аналогичным способностям самоорганизующихся систем естественного происхождения. Оценка этих работ и анализ некоторых аспектов проблемы в целом даны в работе [3], а также в других статьях этого сборника.

Анализ литературных источников, в которых обсуждается проблема самоорганизации, свидетельствует о существовании довольно разноречивых представлений. Они лежат в широком диапазоне от приписывания всей природе свойства самоорганизации до полного отрицания его смысла [5, с. 331]. Единодушие здесь можно найти, пожалуй, только в желаниях получить ответы на следующие вопросы: какие принципы лежат в основе гармонического развития природы, почему ее элементы так хорошо «подогнаны» друг к другу; суждено ли творениям человека так же гармонично вписываться в бесконечный процесс самодвижения, или они обречены на вечную зависимость от способностей человека поддерживать их существование, воспроизведение и совершенствование; какие методы познания и творчества использовала природа для создания столь эффективных адаптивных систем, вершиной которых является человек разумный?

Развитие бионических аспектов самоорганизации предполагает наличие результатов кибернетического анализа самоорганизующихся систем естественного происхождения. В литературе эти результаты освещены в настоящее время недостаточно полно. В предлагаемой работе делается попытка в некоторой степени

восполнить этот пробел, причем основное внимание уделяется анализу структуры средств организации взаимодействия различных естественных самоорганизующихся систем (ЕСС) с окружающей средой.

В грандиозном мироздании человек различает множество материальных элементов (атомы, молекулы, вещества, клетки, организмы и т. д.). Все они существуют в составе целостных объектов, переходят из одной системы в другую в процессе взаимодействия последних. В результате обмена происходят изменения состояний систем и их переходы из одной формы существования в другую. Характер этих изменений и переходов не одинаков для систем различной природы.

Для неживых систем характер обменных процессов определяется фактически только вещественно-энергетическими характеристиками взаимодействующих систем. Особенностью такого обмена является спонтанный характер восстановительных процессов и существенное преобладание необратимых переходов. При восстановлении неорганических систем их элементы часто должны пройти через горнила космических и геологических эпох, не всегда обозримых даже теоретически.

Взаимодействие живых систем с окружающей средой определяется не только их вещественно-энергетическими характеристиками, но и информационными. Эта особенность позволяет им обеспечивать себе самостоятельно часть условий существования, избегать необратимых результатов взаимодействия и делать возможным достижение благоприятных условий для восстановительных процессов. Формирование и поддержание условий существования достигается различными путями: изменением собственной структуры, динамических характеристик элементов, их параметров, преобразованием характеристик окружающей среды и др.

В данной работе будут рассмотрены характеристики средств, которыми живые системы обеспечивают себе условия существования. Всех известных представителей с этими способностями можно расположить в ряд по степени их самостоятельности. Нулевую степень самостоятельности имеют, по-видимому, те органические системы, возникновение которых обязано счастливому стечению факторов среды, благодаря которым они появились (аминокислоты, нуклеиновые кислоты и др.). В этом случае все условия их существования должны присутствовать в окружающей среде, автоматически поддерживаться и воспроизводиться ею. Они полностью определяются космическими, геологическими, физико-химическими и другими факторами.

Простейшим из объектов органического мира, который обеспечивает себе часть условий своего собственного существования, является вирус. Он состоит из вещества оболочки белкового происхождения и набора нуклеиновых кислот (НК). Первый компонент взаимодействует с окружающей средой на физико-химическом уровне, и при появлении соответствующих условий (например, попадание в клетку) он растворяется. Далее последовательность со-

бытий определяется структурой второго компонента, набором веществ в протоплазме и условиями внешней среды.

Схематически в интересующем нас плане этот процесс можно представить так. При наличии соответствующих условий среды т. е. определенных веществ клетки, сигнальным образом включаются соответствующие нуклеотиды генетической НК, которые возбуждаются и управляют образованием информационной РНК. Эта последняя поступает на рибосомы и управляет синтезом белков ферментов из аминокислот. НК здесь выступает как управляющая система, работающая по жестким программам синтеза необходимых веществ из вещества клетки с использованием для этого и средств последней. Образовавшаяся при этом система специфических белков-ферментов участвует наряду с НК в обеспечении химической координации метаболических процессов клетки, синтеза белков и воспроизведения самой генетической структуры НК. Эта система ферментов является более гибкой управляющей системой, приуроченной к данным специфическим условиям существования вируса. Специфика этой программы определяется текущим набором факторов среды (температура, радиация, состав органических и неорганических веществ и др.).

Таким образом, взаимодействие вируса с окружающей средой 1 (см. схему) обеспечивается биохимическим уровнем его вещества 2, специфической чувствительностью его генетического материала 3, генетической программой 5, совокупностью управляющих воздействий 4 от нуклеотидов генетической НК на вещество клетки в процессе синтеза биополимеров, совокупностью ферментов (способных координировать специфический обмен клетки, образование необходимых веществ и репликацию генетической НК вируса, а также воспроизведение самого вируса. С другой стороны результат взаимодействия определяется текущими параметрами среды 7, которые вместе с параметрами цитоплазмы клетки определяют характер программ шестого уровня.

Итак, уровни 2, 3, 4 и 5 принадлежат самому вирусу. В процессе его взаимодействия со средой второй уровень достраивается за счет деятельности программы 5 и 6 уровней. Уровни 1, и 7 принадлежат среде. Действия первого и седьмого уровней и пятый и шестой являются источником мутаций и преобразования программ, т. е. источником приспособления, адаптации.

К более высокому уровню самостоятельности в обеспечении условий существования принадлежат одноклеточные организмы. Основными их структурно-функциональными компонентами являются мембраны, состоящие из специфических белков, цитоплазма, состоящая из органических и неорганических веществ, и ядро с генетическими структурами. Для жизнедеятельности и размножения клетки необходимы вполне определенные условия окружающей среды и средства их обеспечения 1 (см. схему). Эти условия сводятся в основном к наличию ряда специфических веществ органического и неорганического происхождения, источников энергии, температуры и т. п. Взаимодействие клетки с окружающей средой

на вещественно-энергетическом уровне осуществляется через ограничивающую ее мембрану. Состав и структуру последней обеспечивает регулировка содержимого цитоплазмы.

Взаимодействуя избирательно со средой, мембрана обеспечивает неравномерное распределение специфических ионов и веществ между цитоплазмой и средой. Благодаря этому клетка имеет определенный запас веществ и потенциальной энергии, которые она использует для обмена с внешней средой и управляемых воздействий на нее. Структура мембраны, ее форма и физико-химические характеристики, а также содержимое цитоплазмы обеспечивают взаимодействие клетки со средой на вещественно-энергетическом уровне 2. Характер этого взаимодействия может изменяться благодаря управляющим воздействиям 4 генетической 5 и ферментативной программ 6 на синтез веществ в клетке.

Характер программы 6 как и в предыдущем случае определяется физико-биологическими факторами среды 7. Мембрана имеет чувствительные к различным химическим и физическим раздражителям элементы белковой природы 3, вкрапленные в ее структуру и обеспечивающие ей избирательные реакции на соответствующие сигналы. В частности, благодаря этому клетка может реагировать на определенные раздражители возбуждением, освобождая часть своей потенциальной энергии и воздействуя таким образом на окружающую среду (связь 3—4). Воздействие адекватных раздражителей на эти входы может приводить к электрическому возбуждению клетки (для нейронов), механическому сокращению (мышечные волокна) и секреции биоактивных веществ (железы). Эти выходы обеспечивают управляемые воздействия 4 клетки на среду. Благодаря функционированию генетических и ферментативных комплексов структура мембраны и ее рецептивные участки могут перестраиваться, что обеспечивает адаптивное функционирование клетки.

Таким образом, для эффективного обеспечения условий существования клетка имеет собственные 2, 3, 4, 5 и 6 уровни средств организации взаимодействия со средой. Адаптивные свойства клетки в онтогенезе обеспечиваются перестройкой 2, 3, 4 и 6 уровней. Шестой формируется под действием факторов внешней среды на клетку. Остальные перестраиваются пятым и шестым. Пятый формируется в филогенезе. Все остальные условия существования клетки, связанные с сохранением характеристик физических, химических и других средств, а также параметров окружающей среды обеспечиваются самой средой обитания.

На следующем уровне автономности находятся многоклеточные организмы. Клетки в организме имеют строгую специализацию и по этому принципу объединены в различные структурно-функциональные единицы — ткани и органы (эпителиальная, мышечная, соединительная, нервная, репродуктивная ткани; сердце, печень, легкие, желудок, кости и т. д.), Ткани и органы объединены в более сложные единицы — системы органов (кровообращения, дыхания, пищеварения, скелетная система и т. д.).

Результаты взаимодействия организма со средой определяются вещественно-энергетическими особенностями его тела 2 (см. схему) и окружающей среды 1, эффекторикой 4 и управляемой организацией их функционирования, осуществляемой с помощью сенсорики 3, генетической, инстинктивной, эндокринной, гуморальной системами 5 уровня, условнорефлекторной системой 6 и психикой 7 для высших животных. Все эти системы с различной степенью готовности возникают в процессе онтогенеза в пре- и постнатальный период.

Сразу же после рождения организм животного имеет определенное число инстинктивных реакций, обеспечивающих ему адекватное взаимодействие с окружающей средой. Они базируются на врожденных жестких связях сенсорных и эффекторных комплексов через нервную систему. Система этих связей обеспечивает инвариантность результатов взаимодействия организмов со средой только в том случае, если в среде существуют факторы, поддерживающие определенные параметры — температуру, влажность, состав химических и биологических веществ, уровни различных излучений в допустимых для жизни границах и др. До определенного возраста необходимые условия поддерживаются жизнедеятельностью других организмов, в том числе и родителей, или временными благоприятными условиями самой внешней среды. Это означает, что механизм шестого уровня организации взаимодействия системы и среды находится в этом случае в среде.

К моменту изменения этих условий в среде в организме должны созреть собственные возможности для обеспечения существования в новых условиях. Некоторые организмы при этом могут изменять свою собственную природу и переходить в другие стадии развития (личинки, куколки и т. п.); другие организмы включают программы выработки соответствующих защитных веществ (растения и т. п.). Но все подобные механизмы не вырабатываются этими организмами в процессе онтогенетического развития, а запрограммированы генетически.

У человека и высших животных время до наступления изменений в окружающей среде используется для выработки новых приспособительных программ поведения в окружающей среде. Материальной основой для этого является нервная система. Жесткие врожденные безусловнорефлекторные связи пятого уровня при этом обогащаются условными, приуроченными только к данным конкретным условиям. Они образуют шестой уровень средств организации взаимодействия организма со средой. Таким образом в многоклеточных организмах в данном случае шестой, адаптивный уровень принадлежит системе и формируется ею в процессе индивидуального функционирования.

Из совокупности условнорефлекторных программ, их элементарных структурно-функциональных единиц и способов их формирования, а также соответствующей им информации о внешней среде и ее изменениях в результате их реализаций формируются элементы психического уровня 7 организации взаимодействия систе

мы и среды. Высшей формой проявления этого уровня является сознание. Этот уровень организации формирует новые программы управления взаимодействием организма со средой только в новых, ранее не встречавшихся условиях. В готовом виде эти программы проявляются на шестом уровне. Содержание седьмого уровня может определяться не только опытом данного организма, но и опытом других, получаемом через информационные системы.

Каждый уровень организации взаимодействия может входить в определенные функциональные гомеостатические системы и сам быть объектом их управления. Например, управление может состоять в выработке такой совокупности воздействий на среду и систему, которая обеспечивает постоянство некоторых их параметров, состава вещества, или таких процессов в нервной системе, которые поддерживали бы целостность, постоянность восприятий, адекватную настройку рецепторики и эффекторов и обеспечивали надежное функционирование программ пятого и шестого уровней. Благодаря наличию седьмого уровня организм приобретает неограниченные возможности формировать новые программы, усовершенствовать средства организации управления как собственные, так и принадлежащие среде.

Схематический анализ примеров самоорганизующихся систем закончим самым последним, пожалуй, достижением природы в этом отношении, имеющим социальную природу. Достижение определенного результата любым коллективом людей всегда начинается с какой-либо производственной операции каждого его члена с помощью имеющихся у них орудий труда 2 (см. схему). Их поведение состоит из множества определенных действий 4, направленных на преобразование предметов труда 1 и орудий производства 2, на организацию измерительной техники, наблюдений и средств регистрации их результатов 3.

Эта деятельность должна сопровождаться вполне определенными благоприятными условиями, которые обеспечиваются средствами внешней среды 1. Вся совокупность операций, которая совершается в процессе достижения данного результата, представляет собой первую программу, по которой начал работать коллектив в данных условиях. В процессе этой деятельности характер операций и средства производства могут усовершенствоваться и изменяться в связи с конкретными изменяющимися условиями производства. Это ведет к образованию множества программ, приуроченных к некоторым конкретным условиям. Множество этих программ и операций образует шестой уровень организации взаимодействия социальной системы со средой. Образование этого уровня обеспечивается наличием специальных исследовательских и научных комплексов (уровень 7), которые разрабатывают более эффективные способы и средства организации производства.

Из предыдущих примеров можно видеть, что тенденция в эволюции самоорганизующихся систем шла в сторону увеличения независимости, автономности организмов от условий среды путем увеличения числа средств организации взаимодействия и измене-

ния их качества. В развитой психике человека эволюция демонстрирует, по-видимому, свое последнее достижение в этом отношении.

С развитием коллективных способов и средств взаимодействия социальных групп со средой можно наблюдать тенденцию, обратную рассмотренной выше. В самом деле, с развитием технологии сначала вещественно-энергетический уровень систем стал приобретать статус условий естественной среды, например, в виде культуры сельского хозяйства (растения, домашние животные), в виде искусственно созданных энергетических систем, веществ, одежды жилищ и т. п. Здесь общество еще оставляет за собой функции контроля, управления, разработки и внедрения новых программ технологии и т. п., т. е. 3, 4, 5, 6, 7 уровни. С развитием автоматизации сначала переходят 3, 4 и 5 уровни, которые реализуются в конструкциях автоматов с жесткими программами. Затем появляются системы управления со сменными программами, принимая на себя шестой уровень. В последнее время развиваются средства автоматизации и седьмого уровня, призванные решить задачу автоматической разработки адаптивных программ для шестого уровня и целеобразования. Таким образом, в этой тенденции естественная природа получает возможность организованного и целесообразного с точки зрения человека развития. Эти тенденции находят воплощение в теории и практике АСУ, а также в разработке автономных адаптивных систем и в частности роботов.

Что же дает нам для решения этих задач проведенный схематический, крайне упрощенный анализ самоорганизующихся систем естественного происхождения? В начале анализа мы исходили из предположения, что в процессе эволюции были отобраны такие самоорганизующиеся системы, жизнедеятельность которых эффективна именно в данных земных условиях, т. е. их вещественно-энергетические характеристики, элементный состав, структура, организация способов и средств взаимодействия со средой и т. п. уже отобраны и эффективность их доказана на практике. В связи с этим такой успешный опыт эволюции мог бы быть использован для решения аналогичных задач при разработке технических систем. Поскольку анализу были подвергнуты в основном состав и структура средств организации адаптивного взаимодействия системы со средой, то обсуждения и выводы будут касаться только этих свойств самоорганизующихся систем.

Во всех рассмотренных выше примерах самоорганизующаяся система достигает определенного результата взаимодействия со средой только при наличии соответствующих условий и средств их обеспечения, содержащихся в данной среде. Вирус может реализовывать свои программы только в том случае, если он находится в цитоплазме клетки; одноклеточные организмы — при наличии в среде соответствующих веществ, температуры и т. д.; многоклеточный организм предъявляет уже менее жесткие требования к среде обитания, обеспечивая себе определенные запасы питательных веществ и т. п.; социальные системы еще менее критичны

к внешним условиям, но как и все предыдущие, они нуждаются в определенных природных ресурсах, климатических условиях и т. п.

Во всех этих случаях средства организации взаимодействия и обеспечения жизнедеятельности распределены между средой и системой. Отсюда можно сделать такой вывод: о самоорганизующейся системе можно говорить только как о части некоторой более общей системы, например, организм—среда. Этот вывод подтверждает представления Эшби о самоорганизации, полученные им в результате логического анализа данного понятия: «Только в этом частном и строго определенном смысле мы можем признать, что система является «самоорганизующейся», не будучи одновременно и «самопротиворечивой» [3, с. 331]. Степень автономности системы и ее качество в этом плане можно оценить количеством и типом присущих ей самой средств и способов обеспечения условий жизнедеятельности.

Во всех рассмотренных примерах самоорганизующихся систем естественного происхождения они только в процессе взаимодействия со средой начинают приобретать средства, обеспечивающие им определенную степень автономности. В процессе функционирования вирусной программы формируется ферментный уровень организации взаимодействия 6 и соответствующий строительный материал 2 из первичного вещества цитоплазмы чужой клетки.

Клетки и многоклеточные организмы, имея до начала взаимодействия со средой в законченном виде фактически только генетические комплексы, безусловные программы и средства их реализации вещественно-энергетические 2, сенсорные 3 и эффекторные образования 4, в процессе взаимодействия со средой формируют новые средства, эффективные в данных конкретных условиях среды. Клетки формируют уровень адаптивных программ 6, а сложные организмы кроме этого и более совершенные средства их организации — психику, интеллектуальные способности 7.

Аналогичные выводы можно сделать и в отношении социальных систем. Здесь кроме желания иметь результат члены социальной группы должны обладать некоторыми производственными навыками, умением взаимодействовать с предметами и орудиями труда, а также друг с другом. Начальная совокупность этих способностей реализуется в производственных операциях и составляет содержание программы первоначального функционирования 5. В процессе деятельности изменяются и совершенствуются способы и средства 4 управляемого воздействия на среду, орудия труда и энергооборуженность 2, способы и средства организации наблюдений и измерений 3, возникают более совершенные и гибкие программы управления в изменяющихся условиях 6 и накапливается социальный опыт организации производства 7.

Таким образом, для всех рассматриваемых здесь самоорганизующихся систем естественного происхождения мы можем сделать вывод о том, что все они закладываются и возникают в виде определенных, фактически одинаковых для всех, начальных структур

с потенциальными возможностями, которые разворачиваются и превращаются в процессе взаимодействия со средой в самоорганизующиеся системы. Важной особенностью таких начальных структур является то, что развитие каждой из них приурочено только к среде с определенными характеристиками, которые она может «узнать» через рецепторные свойства 3 своего субстрата 2 и проявить действие 4 своей программы 5 на окружающую среду 1 (см. схему).

Для всех этих схем характерным является то, что в процессе развития самоорганизующейся системы формируются только те средства, которые необходимы для достижения адекватного взаимодействия со средой в процессе достижения какого-либо результата. В случае вируса это проявляется в виде конкретного состава вырабатываемых ферментов и биополимеров, необходимых для воспроизводства в условиях данной цитоплазмы. Клетки многоклеточных организмов специализируются в процессе эмбриогенеза. Средства их жизнеобеспечения могут быть в одних случаях сильно редуцированы, а в других — гипертрофированы, усилены для выполнения специфических функций в организме.

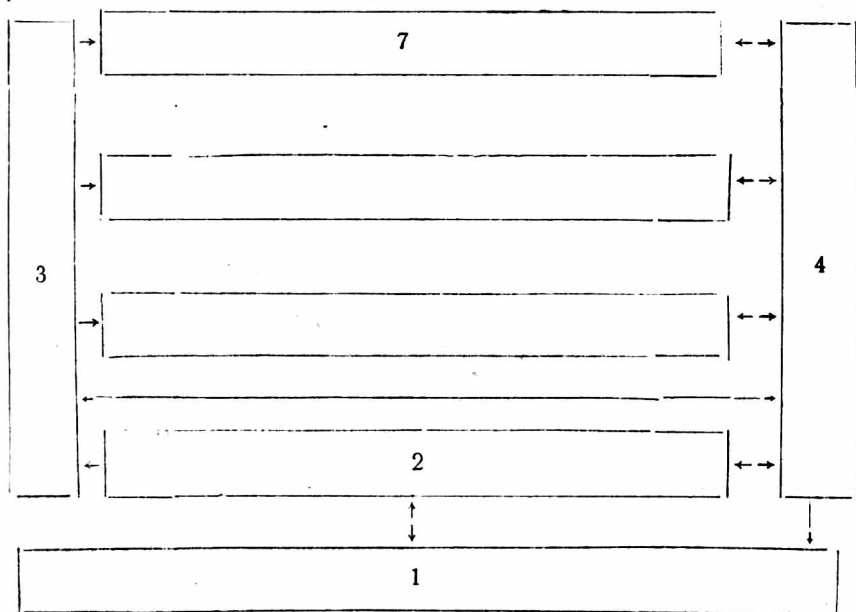
Например, эритроциты в этой связи не имеют ядра и имеют много гемоглобина, нервные клетки имеют характерные геометрические формы и способность передавать электрическое возбуждение и т. д. Организмы в процессе эволюционного отбора приобретают или развивают те качества, которые способствуют их гармоническому отношению со средой в процессе обеспечения жизнедеятельности. У различных животных к моменту рождения созревают только те функциональные системы, которые обеспечивают ему выживание в условиях родительской опеки.

Исследования П. К. Анохина на эмбриональном уровне показали, что созревают и включаются в функциональную систему не все компоненты одновременно, а несколько структурных единиц, но так, что они готовы объединиться в какую-то минимальную, не совершенную, но тем не менее архитектурно полную функциональную систему [1, с. 95]. Человек в процессе онтогенеза приобретает определенную совокупность социально значимых ролей. Какой-либо социальный производственный коллектив тоже специализируется на выпуске определенной продукции и т. д.

Анализируемое свойство очень важно с точки зрения механизмов консолидации, объединения этих элементов в адаптивные системы. Логически этот процесс можно представить следующим образом. Характеристики среды и развивающихся элементов самоорганизующейся системы всегда представлены неравномерно в пространственно-временном континууме. В силу этого каждый элемент будет развивать или проявлять те средства организации взаимодействия, которые дополняют уже существующие в его окружении до той полноты, которая обеспечивает достижение необходимого данному элементу результата взаимодействия.

Из предыдущего анализа рассмотренных примеров самоорганизующихся систем следует вывод, что организация управления

взаимодействием между автономными системами и средой обеспечивается одной и той же структурой функциональных средств, распределенных между системой и средой. В обобщенном варианте структурно-функциональная схема элементов и средств самоорганизации имеет такой вид:



На схеме цифрами обозначены уровни организации средств взаимодействия системы со средой, а стрелками — действия этих уровней друг на друга: 1 — всевозможные средства организации воздействий среды на систему; 2 — уровень организации, характеризующий вещественно-энергетические особенности субстрата системы; 3 — сенсорно-измерительный уровень получения, преобразования и передачи информации о состояниях среды и системы; 4 — эффекторный уровень управляемого воздействия системы на среду и функциональных систем друг на друга; 5 — уровень жестких врожденных программ управления; 6 — уровень адаптивных программ организации взаимодействия; 7 — уровень формирования и отбора адаптивных программ для шестого уровня.

Все эти уровни состоят из множества функциональных элементов и блоков. В среде — это органические и неорганические вещества, климатические условия, социальные, геологические и космические факторы и т. п. В системе — это вещественно-энергетические, физические, геометрические, биологические и другие факторы, т. е. природа тела системы, а также сенсорные, эффекторные и информационные управляющие блоки. Организация этих средств при достижении какого-либо результата в процессе взаимодействия системы и среды осуществляется путем их объединения в функциональные системы и взаимной координацией последних. Характер

воздействий элементов и блоков друг на друга в функциональных системах определяется вещественно-энергетическими (например 1—1, 1—2, 2—2, 2—3, 2—4, 4—1, 4—3 и др.) и информационными (например, 1—3, 2—3, 3—5, 3—6, 6—6, 7—7 и др.) свойствами связей.

Функциональные системы обеспечивают условия достижения результата при взаимодействии организма и среды. Функциональная система, согласно учению П. К. Анохина, является единицей интегративной деятельности целого организма. Она представляет собой конкретный физиологический аппарат саморегуляции и гомеостазиса. Она осуществляет избирательное вовлечение и объединение структур и процессов на выполнение какого-либо очерченного акта поведения или функции организма [1, с. 212].

В процессе достижения какого-либо результата функциональной системой условия внешней среды и характеристики самой системы могут изменяться. В связи с этим функциональные системы должны иметь возможность оперативно перестраиваться и оказывать соответствующие влияния друг на друга, чтобы обеспечивать адаптивный характер функционирования организма в изменяющейся среде. В этом случае мы вправе говорить об инвариантности результата по отношению к изменяющимся воздействиям системы и среды друг на друга. Это представление вытекает непосредственно из понятия результата как системообразующего фактора, введенного П. К. Анохиным [12], и является его расширением, так как позволяет говорить не только о данной функциональной системе, замкнутой на данный результат, а о любом их числе и типе, которые могут включаться в процессе его формирования. В этих представлениях не исключаются также и условия среды, влияющие на формирование результата.

Таким образом, понятие инвариантности результата позволяет говорить не только об образовании некоторой функциональной системы, жестко приуроченной к достижению данного результата, но и о самоорганизации функциональных средств системы, которой принципиально чужда жесткая структура. Инвариантность результата определяет критерий качества объединения средств организации и управления в функциональные системы, а также степени их взаимной координации.

Развиваемые здесь обобщенные представления о структуре средств организации адаптивного взаимодействия системы со средой в процессе достижения какого-либо результата позволяют осуществить системный анализ взаимодействующих системы и среды с точки зрения самоорганизации уже на более высоком уровне когда элементами самоорганизации являются всевозможные функциональные системы, сложившиеся в фило- и онтогенезе, а также их информационные отображения на седьмом уровне обобщенно-схемы. Следующая таблица дает представление о некоторых функциональных системах и комплексах, которые могут возникать при взаимодействиях самоорганизующейся системы со средой в процессе достижения какого-либо результата. В первой графе записа

ны воздействия одного уровня на другой, во второй — всевозможные функциональные системы и образования, через которые различные уровни могут влиять друг на друга.

I	II
1-1	1-1, 1-2-1, 1-3-5-4-1, 1-3-4-1, 1-3-6-4-1, 1-3-7-4-1
1-2	1-2, 1-3-4-2, 1-3-5-4-2, 1-3-6-4-2, 1-3-7-4-2
1-3	1-3, 1-2-3, 1-2-4-3
1-4	1-2-4, 1-3-4, 1-3-5-4, 1-3-6-4, 1-3-7-4
1-5	1-2-4-5, 1-2-3-5, 1-3-5
1-6	1-2-4-6, 1-2-3-7, 1-3-7
1-7	1-2-4-7, 1-2-3-7, 1-3-7
2-1	2-1-2-4-1, 2-3-4-1, 2-3-5-4-1, 2-3-6-4-1, 2-3-7-4-1
2-2	2-1-2, 2-3-4-2, 2-1-3-4-2, 2-1-3-5-4-2, 2-3-6-4-2, 2-2
2-3	2-3, 2-4-3, 2-1-3
2-4	2-4, 2-1-3-4, 2-1-3-5-4, 2-1-3-6-4, 2-3-4, 2-3-6-4
2-5	2-4-5, 2-3-5, 2-1-3-5, 2-4-3-5,
2-6	2-4-6, 2-3-6, 2-1-3-6, 2-4-3-6
2-7	2-4-7, 2-3-7, 2-1-3-7, 2-4-3-7
3-1	3-4-1, 3-4-2-1, 3-5-4-1, 3-5-4-2-1, 3-6-4-2-1
3-2	3-4-2, 3-4-1-2, 3-5-4-2, 3-5-4-1-2, 3-6-4-2-2, 3-6-4-2
3-3	3-4-3, 3-4-2-3, 3-4-1-3, 3-5-4-3, 3-5-4-2-3, 3-6-4-1-3
3-4	3-4, 3-5-4, 3-6-4, 3-7-4
3-5	3-5, 3-6-4-5, 3-4-5
3-6	3-6, 3-4-6, 3-5-4-6, 3-7-4-6
3-7	3-7, 3-4-7, 3-5-4-7, 3-6-4-7
4-1	4-1, 4-2-1
4-2	4-2, 4-1-2
4-3	4-3, 4-1-3, 4-2-3, 4-1-2-3, 4-2-1-3
4-4	4-4, 4-3-4, 4-2-3-4, 4-1-3-5-4, 4-2-3-6-4, 4-1-3-7-4
4-5	4-5, 4-3-5, 4-1-3-5, 4-1-2-3-5, 4-2-3-5, 4-2-1-3-5
4-6	4-6, 4-3-6, 4-2-1-3-6, 4-2-1-3-6, 4-1-3-6, 4-1-2-3-6, 4-2-3-6
5-1	5-4-1, 5-4-2-1
5-2	5-4-2, 5-4-1-2
5-3	5-4-3, 5-4-1-3, 5-4-2-3, 5-4-2-1-3, 5-4-1-2-3
5-4	5-4
5-5	5-5, 5-4-3-5, 5-4-2-3-5, 5-4-1-3-5, 5-4-2-3-6-4-5
5-6	5-4-3-6, 5-4-2-3-6, 5-4-1-3-6, 5-4-1-3-7-4-6
5-7	5-4-1-3-7, 5-4-2-3-7, 5-4-3-7
6-1	6-4-1, 6-4-2-1
6-2	6-4-2, 6-4-1-2
6-3	6-4-3, 6-4-1-3, 6-4-2-3, 6-4-2-1-3, 6-4-1-2-3
6-4	6-4
6-5	6-4-3-5, 6-4-2-3-5, 6-4-1-3-5
6-6	6-6, 6-4-3-6, 6-4-2-3-6, 6-4-1-3-6
6-7	6-4-3-7, 6-4-2-3-7, 6-4-1-3-7, 6-4-1-2-4-7
7-1	7-4-1, 7-4-2-1
7-2	7-4-2, 7-4-1-2
7-3	7-4-3, 7-4-1-3, 7-4-2-3, 7-4-1-2-3, 7-4-2-1-3
7-4	7-4, 7-4-3-6-4, 7-4-1-2-4
7-5	7-4-5, 7-4-3-5, 7-4-1-3-5, 7-4-2-3-5, 7-4-1-2-4-5
7-6	7-4-6, 7-4-3-6, 7-4-1-3-6, 7-4-2-3-6, 7-4-1-2-4-6
7-7	7-7, 7-4-3-7, 7-4-2-3-7, 7-4-1-3-7, 7-4-1-2-4-7

Из этой таблицы видно, что некоторый результат может быть достигнут благодаря работе одной из функциональных систем или некоторой их совокупности. Например, если результатом является определенное изменение состояний элементов первого уровня, то

оно может быть достигнуто такими путями: 1—1, 2—3—4—1 и т. д. т. е. теми функциональными системами из таблицы, которые заканчиваются единицей. При этом должны быть соответствующими состояния элементов других уровней и пересекающихся функциональных систем. Поскольку взаимодействие системы и среды должно обеспечивать инвариантность результата, то функциональные системы должны объединять элементы различных уровней во взаимодействующее множество элементов адаптивной системы

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин П. К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. М. «Медицина», 1968. 547 с.
2. Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. М., Изд-во АН СССР, 1971. 61 с.
3. Коган А. Б. Самоорганизация как ведущий принцип адаптивного управления. — В сб.: Проблемы адаптивного управления. Ростов-на-Дону, Изд-во РГУ, 1974, с. 3—12.
4. Самоорганизующиеся системы. Сборник статей. М., «Мир», 1964. 435 с.
5. Эшби У. Р. Принципы самоорганизации. — В сб.: Принципы самоорганизации. М., «Мир», 1966, с. 314—343.