

П. К. Анохин

Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем¹

ОБЩИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Трудно найти в истории цивилизации такой момент, о котором можно было бы сказать, что именно тогда возникла идея о целостности, о единстве мира. Вероятно, уже при первой попытке понять мир мыслящий человек столкнулся с поразительной гармонией между целым, «универсумом», и отдельными деталями, частями. Однако по самой сути человеческого ума он всегда имеет дело с непосредственным, с его конкретным окружением, с явлениями изолированной «ниши», и это коренным образом повлияло на весь ход его познавательной деятельности.

Непосредственное, частичное имело прямое практическое значение для усовершенствования приспособительной деятельности человека, и потому абстрактное «целое» пришло в его познавательную деятельность значительно позднее.

От диффузных и недифференцированных форм целое постепенно приобретало значение чего-то организованного, с постоянным гармоническим взаимодействием своих частей, подчиняющимся своим специфическим законам, не свойственным частям, деталям целого. Так постепенно подготавливалось то научное движение, которое в настоящее время получило широкое название «системного подхода».

Если внимательно проанализировать успехи современной биологии и вдуматься в попытки обобщить и осмыслить значение этих успехов, то, пожалуй, системный подход представляет собой наиболее выраженное и широко принятое направление во всех этих поисках.

Такой успех системного подхода вполне понятен. Исключительно бурный рост числа новых публикаций в области конкретных естественных наук приводил к столь же бурному росту чувства беспомощности исследователя перед полноводьем аналитических фактов. По этому поводу красочно выразился крупнейший физик нашего времени Оппенгеймер, говоря, что в настоящее время «исследователь ощущает свое невежество тем больше, чем больше он знает...» (Оппенгеймер, 1957; цит. по Юнгу, 1960).

Стало очевидным, что только какой-то более высокий принцип поможет разобраться в логических связях между отдельными фактами и что только этот принцип позволит более успешно и на более высоком уровне проектировать новые исследования.

Сторонники системного подхода все более и более настойчиво подчеркивают, что именно система является тем изоморфным принципом, который проникает через все границы, исторически сложившиеся между различными науками, несмотря на то что эти науки изучают как будто качественно различные классы явлений: организмы, общество, машины.

Однако из сказанного видно, что поиски «системы» как более высокого и общего для многих явлений принципа функционирования могут дать значительно больше, чем только одни аналитические методы при изучении частных процессов. Благодаря такой

¹ Принципы системной организации функций. М., «Наука», 1973, с. 5—61.

оценке роли системного подхода возникли самые различные направления поиска. С одной стороны, делаются попытки объяснить организацию больших биологических систем, с тем чтобы связать поведение организма с молекулярным уровнем процессов, включенных в это поведение. С другой стороны, идет настойчивый поиск законов формирования больших систем для социально-экономических явлений (В. Г. Афанасьев, Б. С. Украинцев и др.), машинных устройств и т. д. В зависимости от общей концепционной обстановки к этим классам явлений прибавляется также и трактовка обширных машинных устройств, которые способны к самоорганизации. Все это направляет мысль на новые поиски, на формулировку и раскрытие новых закономерностей, и именно это обстоятельство сейчас является наиболее впечатляющим в области нового и прогрессивного движения в науке, получившего название системного подхода.

Развитие этого нового научного движения в последние десять лет ознаменовалось весьма радикальными выступлениями, в которых роль системы в развитии наук и общества поднимается настолько высоко, что некоторые энтузиасты этого направления стали говорить о наступлении в науке «эры системы» (Эллис). С другой стороны, наметилась тенденция к выделению системного подхода в особую науку — «системологию» (Паек, В. М. Глушков и др.), а коллектив авторов из NASA¹ предлагает вообще выделить специальную науку о «биологических системах» («Biological Systems Science», 1971). В последнее время одним из авторов этого издания опубликована специальная монография «Toward a general science of viable systems», в которой делается попытка сформулировать некоторые основные положения этой науки (Iberall, 1972).

Таким образом, внимание к системному подходу очень велико, хотя Калман, Фалб и Арбиб в своей книге «Очерки по математической теории систем» (1971) назвали системный подход «областью увлекательной, но неупорядоченной». Как мы увидим ниже, в какой-то степени с ними можно согласиться.

Трудно сказать, когда возникла необходимость введения целостного подхода при объяснении функций организма. Эта потребность фактически ощущалась всеми исследователями, но решалась ими различным образом. Одни ученые полностью отрицали что-либо специфическое в целостной организации и делали попытку объяснить ее, исходя только из свойств элементов, входящих в целостные образования. Так возник механистический подход к объяснению целого.

Другие допускали, что множество элементов организма приводится в организованное целое при помощи некоторой неорганической силы, которая, находясь все время в «надорганическом состоянии», обладает специфическим качеством «одухотворения» и формирования организованного целого (например, «энтелехия Дриша», «мнема Блейлера», «руководящая сила Клода Бернара» и др.). Такую позицию заняли виталисты всех направлений, хотя некоторые из них давали объективные оценки целостности.

Преимущество изучения целостного организма с особой силой выражено уже в очень ранних работах И. П. Павлова. Так, например, еще в конце прошлого столетия он выдвинул идею, что наиболее нормальные функции организма можно изучать не у ограниченного в подвижности животного, т. е. в условиях вивисекции, а у целостного, ненаркотизированного животного. Так появились его знаменитые методы

¹ National Aeronautic and Space Administration. (Национальное управление по исследованию космического пространства, США),

исследования: изучение кровяного давления, фистульные методы при изучении пищеварения и, наконец, изучение высшей нервной деятельности.

Однако физиология XIX и XX веков характеризуется именно тем, что в ней сосуществовали противоречивые тенденции. Наряду с совершенно четко ощущаемой необходимостью изучения целостного, динамически функционирующего организма физиолог-экспериментатор находился все еще под опьяняющим влиянием анализа рассечения организма и часто ограничивался исследованием лишь его тонких механизмов, не относя результатов к более высоким принципам организации.

В последние годы тенденция к изучению специфических закономерностей именно целостного организма стала уже совершенно непреодолимой в связи с нарастающим разочарованием исследователей в продуктивности одного аналитического подхода к исследованию и к объяснению полученных результатов. Становится все более очевидным, что необходимо сформулировать такой рабочий принцип, который мог бы перебросить «концептуальный мост» между теми фактами, которые получаются при изучении явлений у целостного животного, и теми, которые получаются при тонком аналитическом эксперименте.

В сущности эта проблема актуальна не только для исследователей-биологов, но и для физиков, экономистов и других специалистов. Достаточно проследить крайне интересную дискуссию между Нильсом Бором и Альбертом Эйнштейном, чтобы понять, какой животрепещущей проблемой является выработка этих новых принципов целостного подхода к изучаемому объекту. В этой дискуссии столкнулись два подхода к вопросу, как обеспечить уровень специфически целого в научном исследовании, например, организма, и в то же время не потерять огромных преимуществ уровня тончайшего анализа.

Как известно, Нильс Бор выразил свою точку зрения в концепции, известной как «принцип дополненности». Согласно этой концепции, целое и целостный подход должны дать исследователю возможность найти дополнительные характеристики изучаемого объекта, более или менее отражающие специфические черты именно целого. Он считает, что условия наблюдения, т. е. ракурс, в котором мы наблюдаем изучаемый объект, могут изменяться в процессе исследования и это дает дополнительные опорные пункты для всестороннего познания объекта. По своей сути этот подход, расширяя возможности изучения целостного объекта, ставит исследователя в положение наблюдателя, определяющего, как складываются наблюдаемые явления.

Альберт Эйнштейн, наоборот, стремился найти такой подход, который заменил бы феноменологический подход Бора динамическим подходом, позволяющим проникнуть в природу внутреннего взаимодействия в каком-либо сложном целостном феномене.

В то время как при помощи феноменологического подхода к целостному процессу можно определить, как устроены изучаемые объекты, подход Эйнштейна заключается в стремлении эмпирически найденную закономерность представить как логическую необходимость.

Нам сейчас важно подчеркнуть, что дискуссия между двумя величайшими учеными нашего времени принимает как нечто определенное и обязательное поиски переходного принципа целостного подхода к явлениям. Речь идет лишь о том, в какой форме этот принцип мог бы быть наиболее эффективным для конкретной научно-исследовательской работы, поскольку целостный подход вообще, оставаясь мечтой

исследователя, не давал в то же время никаких конструктивных решений для формулировки задач повседневного исследования. «Целое» и аналитическое экспериментирование по-прежнему уживались в двух параллельных плоскостях, не обогащая друг друга.

Появление системного подхода дало ученым некоторую надежду на то, что, наконец, «целое» из диффузной и неконструктивной формы примет четкие очертания операционального исследовательского принципа. Однако, прежде чем анализировать причины, по которым этот принцип не был найден, мы хотим дать краткую оценку развития системного подхода в различных физиологических школах.

Термин «система» имеет весьма древнее происхождение, и едва ли есть какое-либо научное направление, которое его не употребляло. Достаточно вспомнить «систему кровообращения», «систему пищеварения» и т. д., которые до сих пор некоторыми исследователями принимаются за выражение системного подхода. Большею частью термин «система» употребляется там, где речь идет о чем-то собранном вместе, упорядоченном, организованном, но, как правило, не упоминается критерий, по которому компоненты собраны, упорядочены, организованы.

Эти общие недостатки естественны. Мы не должны забывать, что последовательное приложение системного принципа к явлениям различного класса (организму, машинам, обществу) не является простой сменой терминологии, перестановкой лишь порядка исследовательских приемов. Системный подход к исследованию является прямым следствием перемены теоретического подхода к пониманию изучаемых объектов, т. е. в какой-то степени следствием изменения самой формы мышления экспериментатора. Естественно, что такой процесс не может быть одномоментным.

Как будет показано ниже, наиболее характерной чертой системного подхода является то, что в исследовательской работе не может быть аналитического изучения какого-то частичного объекта без точной идентификации этого частного в большой системе. Таким образом, со стратегической и практической точек зрения исследователь должен иметь прежде всего конкретную концепцию системы, которая должна удовлетворять основным требованиям самого понятия системы, и лишь после этого формулировать тот пункт системы, который подлежит конкретному исследованию.

В области физиологических исследований И. П. Павлов, пожалуй, первым употребил выражение «система» для некоторых специальных случаев своей экспериментальной работы. Речь идет прежде всего о формировании динамического стереотипа. Как известно, эта система создается тем, что изо дня в день повторяется стереотипный порядок одних и тех же условных раздражителей. В результате длительной тренировки этот порядок раздражителей, обнаруживаемый по специфическому для данного раздражителя количеству слюны, проявляет себя даже в том случае, когда применяется один и тот же раздражитель.

Прямые электроэнцефалографические исследования мозга в момент создания такого динамического стереотипа, проведенные в нашей лаборатории А. Д. Семененко, показали весьма интересные свойства мозга как целого. Так, например, оказалось, что к каждому предстоящему раздражителю в случае укрепленного динамического стереотипа мозг автоматически, т. е. только на основе прежней тренировки и независимо от реального внешнего раздражителя, готовит состояние, качественно отражающее именно тот раздражитель, который применялся на этом месте много раз в прежних тренировках. Конечно, создаваемые таким образом стереотипные состояния мозга, отражающие комплекс условных раздражителей дан-

ного опытного дня, далеки по своему физиологическому смыслу от того системного подхода, который бурно развивается в последнее время. И все же эти эксперименты показали, что мозг может на основе приобретенного опыта создавать некоторые целостные состояния, объединяющие раздражители целого экспериментального дня и раскрывающиеся независимо от реальной экспериментальной обстановки.

Мы не будем приводить здесь все те случаи, в которых понятие «система» привлекалось для обозначения чего-либо упорядоченного, ибо хорошо известно, как широко этот термин употребляется для обозначения подобного рода феноменов. Нас интересуют здесь по преимуществу системы, обладающие способностью экстренной самоорганизации, динамически и адекватно приспособливающие организм к изменению внешней обстановки. Иначе говоря, нас интересуют натуральные функциональные системы организма.

Системный подход в форме теоретической концепции под названием «общая теория систем» возник как реакция на исключительно бурный рост аналитических подходов в науке, все более и более удаляющих творческую мысль от того, что длительное время называлось проблемой целостного организма.

Общая теория систем как новая форма мышления, несмотря на свои глубинные дефекты, сразу же привлекла внимание западных ученых и получила особенно широкий отклик в среде теоретиков. Этому содействовала также организация регулярного ежегодного издания «Общая теория систем», которое стало своеобразным дискуссионным клубом и для сторонников, и для противников системного подхода как универсальной концепции, объединяющей интересы самых разнообразных наук.¶

К этому времени и в среде биологов-экспериментаторов назрела необходимость целостного подхода к объяснению материала, накопленного в результате аналитического подхода к предмету. В отчетливой и красочной форме эту потребность выразил Уоддингтон в предисловии к книге Гудвина «Временная организация клетки» (1966). Подчеркивая необходимость разработки теоретической биологии, направленной на понимание принципов организации биологических систем, он пишет: «Мы можем восхищаться теориями, говорящими нам о назначении структуры в простейших живых объектах, таких, как, например, вирусы, которые почти целиком состоят из нуклеиново-кислотного стержня, заключенного в белковую оболочку, но мы не можем удовлетвориться ими. Нам необходимо развить, исходя из этого, надструктурную теорию, которая позволила бы нам понять организацию высших, наиболее сложных форм жизни. Однако разработка такого базиса, необходимого биологии для того, чтобы проделать путь от вируса до мыши, является, вероятно, еще более грандиозной задачей, чем та, которую решала физика на пути от атомного ядра к молекуле, полупроводнику и звезде».

Нельзя не согласиться с Уоддингтоном в том, что этот путь действительно труден, однако он не был бы таким, если бы с самого начала изучения биологических систем было решено, что целое, система при своем становлении приобретают собственные и специфические принципы организации, не переводимые на принципы и свойства тех компонентов и процессов, из которых формируются целостные системы (например, возбуждение и торможение).

Значительное влияние на развитие системного подхода оказало интервью «отца кибернетики» Норберта Винера. Отвечая на вопрос корреспондента о том, какой будет

наука в 1984 г., он сказал: «Главные проблемы биологии также связаны с системами и их организацией во времени и пространстве. И здесь самоорганизация должна играть огромную роль. Поэтому мои предположения в области наук о жизни касаются не только их постепенной ассимиляции физикой, но и обратного процесса — постепенной ассимиляции физики ими» (Винер, 1964).

Сразу же после этого интервью общая теория систем и системный подход возбудили особый интерес среди исследователей разных специальностей. Прежде всего было организовано несколько центров по изучению системы: при Кливлендском и Оксфордском университетах («Исследование систем») и др.

Во Франции недавно был создан специальный Институт высшего синтеза, организаторы которого в сущности также сосредоточили свое внимание на изучении принципов организации целостных образований в природе и обществе. Его центральным направлением является формулировка «идей науки» для раскрытия высшего синтеза в явлениях природы и общества. В 1971 г. этот Институт провел III Международный конгресс, посвященный искусственному и естественному интеллекту (Institut des Hautes Synthes, Nice, France).

В последние годы один за другим стали организовываться симпозиумы, конференции и другие встречи, посвященные изучению систем. Особенно большую активность в этом направлении (с 1950 г.) проявили Бергаланфи и Научное общество по общей теории систем, а также и Кливлендский центр по изучению систем. Последний уже провел три международных симпозиума по «системному подходу в биологии» и осуществил ряд изданий, посвященных этой проблеме (например, «Теория систем и биология»). Естественно, должен возникнуть вопрос: как далеко продвинулись биологи и физиологи после этих многосторонних попыток приблизиться к пониманию системы и использованию ее как методологического инструмента в формулировке новых задач исследования и понимании уже накопленных материалов? Можем ли мы сейчас с большим успехом сформулировать само понятие системы, чем раньше? Несмотря на то что общие задачи системного движения в науке сформулированы были достаточно правильно, результаты исследований, особенно конкретизация понятия системы и формулировка ее конкретных и специфических только для нее биологических свойств, остаются очень неутешительными. Не будет преувеличением сказать, что дело остановилось на подборе определений, формулировок, которые охарактеризовали бы систему и выделили бы ее из категории несистем.

Из всех определений системы, которые даются участниками дискуссии по общей теории систем (см. ниже), видно, что чисто теоретический подход к проблеме практически не сдвинул ее с места. В качестве аргумента можно привести достаточно красноречивую характеристику, данную одним из прогрессивных биологов Гудвином в книге «Временная организация клетки» (1966). Он писал: «Центральное место в биологической науке занимает концепция организации, хотя само понятие организации и не имеет четкого определения». И это верно. Можно взять десяток определений системы как у самого Бергаланфи, так и у его последователей и увидеть, что ни одно из них не дает возможности активно использовать понятие «система» как инструмент для более усовершенствованной исследовательской работы.

Действительно, если подвести итоги поисков системного подхода и приложить их к пониманию всего накопленного материала в биологических и физиологических

исследованиях, то сразу же обнаруживается их неспособность хоть в какой-либо мере помочь конкретному исследованию. Мы не сможем каждый конкретный результат, полученный при аналитическом эксперименте, поставить в определенное место системы, чтобы он приобрел свое реальное значение органического компонента системы, содействующего своими степенями свободы получению результата системы. Вспомним, что одной из главных целей поисков системы является именно ее способность объяснить и поставить на определенное место даже тот материал, который был задуман и получен исследователем без всякого системного подхода.

В чем причина этого очевидного неуспеха в таких оживленных поисках системного подхода при достаточно правильно сформулированной исходной цели? Почему при правильно сформулированных недостатках теоретических обобщений в биологии и физиологии и при широком внимании к этим недостаткам мы тем не менее не имеем конструктивных итогов, которые своей полезностью заслужили бы широкую популярность у экспериментаторов — биологов и физиологов? Нам кажется, что одной из главных причин такого печального положения с поисками конкретных качеств системы является излишнее теоретизирование всей проблемы в целом. Действительно, необходимость начать системный подход возникла у специалистов главным образом в результате смутного ощущения неправильного развития биологии и физиологии, т. е. на основе чисто теоретических соображений. Достоинства системного подхода мыслились теоретически, но они еще не имели соответствующего, уже найденного в конкретном исследовании эквивалента.

Сложилось курьезное положение: с одной стороны, не было поддержки конкретных биологических и физиологических наук в виде открытия конкретных, специфических только для системы механизмов, а с другой — непомерно разрослась часть теоретических поисков и определений, часто украшенных обширными математическими выкладками. Именно этим можно в какой-то степени объяснить парадоксальное явление: у всех теоретиков системы и у философов поразительно схожи сами определения понятия системы, хотя ни у тех, ни у других это понятие не имеет действительного значения как инструмент, облегчающий конкретную исследовательскую работу.

ОСОБЕННОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ В РАЗРАБОТКЕ ТЕОРИИ СИСТЕМ

Интересно выяснить, какие же цели ставят перед собой различные группы исследователей, какими методами они осуществляют настойчивый поиск «системного подхода»?

При первой же попытке понять эти цели по имеющимся литературным источникам мы встречаемся по крайней мере с четырьмя оформившимися тенденциями.

Первая состоит в том, чтобы сделать системный подход достаточно понятным с формулировочной точки зрения и направить все внимание на философский смысл и объем системного подхода, примененного, в частности, к социальным явлениям. В этих поисках система выступает как научная и философская категория, ведущая к усовершенствованию познавательного процесса. Такое направление, в основном разрабатываемое философами и историками, развивается в настоящее время по пути

исключительно теоретического поиска и теоретической оценки, при которых трудно пока говорить о каком-либо контакте с практическими запросами исследовательской работы.

Представителями второй тенденции являются сторонники математической формализации системы, или математической теории систем (Месарович, Раппопорт, В. Кухтин и др.).

Последователи системного подхода, поддерживающие третье направление, считают, что теория систем должна вырасти из изучения натуральных систем и затем стать конкретным инструментом исследования. Такие системы должны помогать исследователю ставить новые, более прогрессивные задачи научных исследований, быть способными объяснять накопленный ранее материал и преодолеть только аналитический подход к исследовательской работе. Эта категория ученых обычно ожидает, что теория систем проложит «концептуальный мост» через пропасть, пока еще разделяющую синтетический и аналитический подходы к объектам исследования.

Можно считать, что к последнему направлению примыкают сторонники системного подхода (четвертая тенденция), которые под этим углом зрения анализируют социально-экономические системы.

В последние годы становится особенно популярной проблема «больших систем», объединяющая все виды организации промышленных, производственных и обслуживающих систем (В. А. Трапезников, В. Г. Афанасьев, Д. М. Гвишиани, Ханике, Бросс и др.).

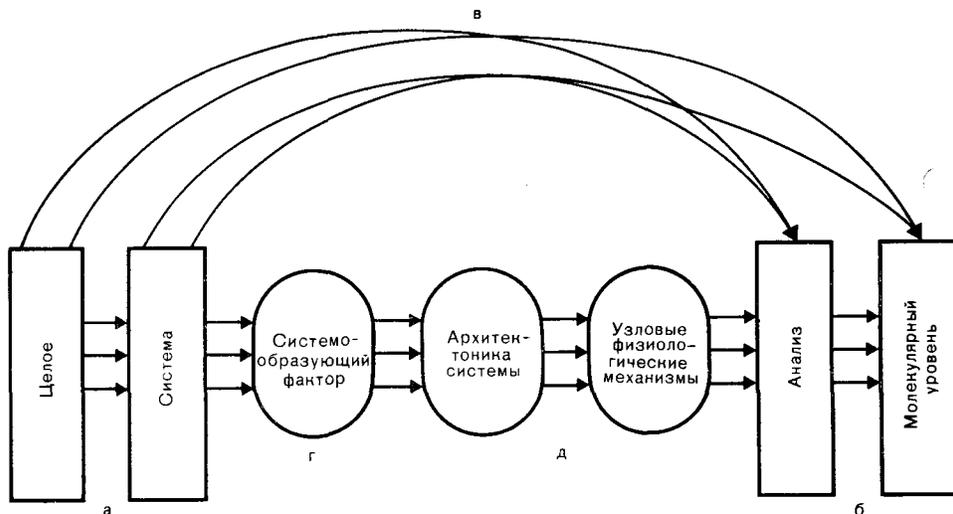
Как видно из этой краткой характеристики, исследования различных ученых значительно отличаются по своим подходам и целям, что по-разному влияет на репутацию самой полезности разработки теории систем. Естественно, что исследователь, работающий в конкретной области науки (биологии, физике, физиологии, медицине), заинтересован прежде всего в том, чтобы теория систем вошла в его интеллектуальный статус как вполне понятное научное движение, значительно обеспечивающее прогресс его конкретной научной работы. Обычно эта категория исследователей мало обращает внимание на общеполитическое и методологическое обсуждение теории систем, поскольку такое обсуждение, как правило, не устанавливает концептуального моста между философией системы и ее применением к какому-либо изучаемому объекту.

Такое отношение к философскому разбору системного подхода отнюдь нельзя назвать узким прагматизмом, как это может показаться на первый взгляд. Скорее эту позицию можно определить как склонность изучать не «методологию вообще», а «методологию моего дела».

Если представленные выше особенности разработки различных аспектов теории систем затрагивают интересы различных сторонников системного движения, то фактор, который мы собираемся обсудить ниже, является общим и даже обязательным для любого исследователя теории систем с любыми требованиями к ее практическому эффекту.

РЕШАЮЩАЯ РОЛЬ СИСТЕМООБРАЗУЮЩЕГО ФАКТОРА

Таким обязательным положением для всех видов и направлений системного подхода является поиск и формулировка системообразующего фактора. Эта ключевая проблема определяет как само понятие системы, так и всю стратегию его применения в исследовательской работе. Иначе говоря, принесет ли пользу



1. Схематическое изображение «концептуального моста» между системным уровнем и тонкими аналитическими процессами.

а — уровень целостной системной деятельности; б — уровень тонких аналитических процессов; в — путь обычных корреляционных отношений; г — включение системообразующего фактора, который объясняет процесс упорядочивания между множеством компонентов системы; д — операциональная архитектура системы и ее узловые механизмы.

Схема демонстрирует непрерывность исследовательского процесса, обеспечивающего непосредственный переход от системного уровня к тонким физиологическим деталям системы до молекулярного уровня включительно.

конкретным наукам системный подход или не принесет, будет зависеть от того, насколько успешно мы выделим системообразующий фактор и насколько полно будет описано его операциональное значение для формирования системы. Только при этом условии мы можем применить принципы системообразования для всех тех классов явлений, в которых происходит упорядочивание.

Между тем вокруг этой проблемы сложилась крайне странная ситуация. Почти все сторонники системного подхода и общей теории систем подчеркивают как центральное свойство системы «взаимодействие множества компонентов» (Берталанфи, Раппопорт и др.). Близким является «упорядоченное взаимодействие» или «организованное взаимодействие». По сути дела именно на этих определениях понятия системы и покоится все обсуждение системного подхода. Хотя весь успех понимания системной деятельности, особенно у организмов, зависит от того, определим ли мы, какой именно фактор упорядочивает до того «беспорядочное множество» и делает это последнее функционирующей системой, вопрос о системообразующем факторе просто никогда не был поставлен в отчетливой форме системе логами. Он не ставится ни главным идеологом «общей теории систем» Берталанфи, ни группой его последователей (Акоф, Раппопорт, Месарович, Уотерман и др.). Пожалуй, так же дело обстоит и у советских теоретиков системы, объединенных Институтом истории естествознания и техники и Институтом философии АН СССР (В. Н. Садовский, И. В. Блауберг, Э. Г. Юдин, А. И. Уемов, К. М. Хайлов и др.).

В результате этого коренного недостатка — отсутствия системообразующего фактора — все имеющиеся сейчас определения системы случайны, не отражают ее истинных свойств и поэтому, естественно, не конструктивны, т. е. не помогают ставить новых, более объемных вопросов для исследования (рис. 1).

Ознакомившись подробно со всеми публикациями Общества общей теории систем (Society of General System's Theory), можно с уверенностью утверждать, что теоретическая неопределенность, отсутствие связи с конкретными научными дисциплинами и неконструктивность основных положений непосредственно для исследовательской работы являются следствием игнорирования основной проблемы системологии — раскрытия системообразующего фактора. Без определения этого фактора ни одна концепция по теории систем не может быть плодотворной. Трудно допустить без него существование какой-либо теории систем и прежде всего общей теории систем. Отсюда возникают и терминологические вопросы. Так, например, можно утверждать, что термин *общая*, примененный к теории систем Берталанфи, не имеет достаточного логического обоснования. Именно это чрезвычайно ограничивает ее конструктивное использование в научно-исследовательском процессе.

Постараемся произвести строгий логический анализ этой проблемы.

В каком случае мы могли бы говорить именно об *общей* теории систем? Только в том случае, если бы были даны убедительные доказательства того, что она может быть отнесена к самым разнообразным классам явлений, т. е. выявляет какие-то общие черты в разнообразных классах явлений, например в неорганической природе, организме, машинах, обществе. Так, например, клеточная теория является, несомненно, общей теорией для всего живого на земном шаре, поскольку клеточное образование является общим и изоморфным фактором для всех организмов независимо от уровня их развития и положения на биологической лестнице. Значит, растения и животные именно по этому критерию оказываются изоморфными образованиями.

Исходя из всего сказанного, мы можем построить следующий ряд логических положений.

1. Теория может получить право стать *общей* только в том случае, если она вскрывает и объединяет собой такие закономерности процессов или механизмов, которые являются изоморфными для различных классов явлений.

2. Изоморфизм явлений различных классов может быть выявлен только в том случае, если мы найдем достаточно убедительный критерий изоморфности. Чем более значимым является этот критерий для разбираемых явлений, тем более выраженным является их изоморфизм.

3. Для принятия «общей теории систем», пригодной для различных классов явлений, наиболее важным критерием изоморфности, естественно, является изоморфность системообразующего фактора.

Достаточно внимательно проанализировать эти три положения, чтобы увидеть, в чем состоят конструктивные трудности «общей теории систем», выдвинутой Берталанфи.

Эта теория не вскрыла того фактора, который из множества компонентов с беспорядочным взаимодействием организует «упорядоченное множество» — систему.

Это обстоятельство, т. е. отсутствие системообразующего фактора, не дает возможности установить изоморфность между явлениями различного класса, а следовательно, и не может сделать теорию *общей*. Именно этот недостаток бросается в глаза при изучении аргументов сторонников общей теории систем. И это же обстоятельство неизменно препятствует общей теории систем стать инструментом конкретного научного исследования.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ СИСТЕМ

Оценивая все стороны системного движения, которые являются тормозящим фактором в быстром и широком использовании теории систем в повседневном научном исследовании, мы не можем оставить в стороне так называемую математическую теорию систем.

Едва ли приходится сомневаться в том, что моделирование в настоящее время стало всеобщим и неоспоримым помощником в теории и практике различных областей деятельности. Большую пользу приносит и математическое моделирование.

Однако вряд ли то же самое можно сказать и про «математическую теорию систем», и именно потому, что ее общая стратегия вступает в противоречие с конкретной пользой от ее применения там, где речь идет о приложении математической теории систем к биологическим системам.

Прежде всего — и это, пожалуй, самое главное — сторонники математической теории совершенно радикально решают вопрос о соотношении этой теории с биологией. Так, например, Месарович, апологет математической теории систем, пишет: «Мы будем рассматривать системный подход как использование теории систем для изучения и объяснения биологических явлений. Таким образом, эта статья -будет посвящена теории систем или, более конкретно, рассмотрению вопроса о том, может ли эта теория служить одновременно и принципиальной основой, и практическим методом для научного объяснения биологических явлений» (1970).

И еще более демонстративно эта парадоксальная, с точки зрения биолога, последовательность разработки биологических систем выражена в тезисах Месаровича (1970), регламентирующих применение математической теории систем к биологическим явлениям: «После того как построена система (математическая модель) и определено конструктивное задание, задача теории систем сводится к изучению свойств данной системы (методами математической дедукции или путем машинного моделирования). Таким образом, методология системного подхода в биологии .слагается из следующих этапов:

а) формализация (абстрагирование) — построение системы S и определение для нее конструктивного задания;

б) дедукция — исследование свойств системы S с использованием дедуктивных методов;

в) интерпретация — изучение смысла найденных (дедуктивными методами) свойств в контексте рассматриваемого биологического явления».

По сути дела той же точки зрения придерживаются Калман, Фалб, Арбиб — авторы известной монографии «Очерки по математической теории систем».

Среди советских исследований теории систем особенно выделяются работы проф. А. И. Кухтенко, который, применяя математическую теорию систем к «большим системам» промышленного типа, принципиально так же начинает процесс изучения производственных явлений после предварительной формулировки математических моделей систем.

Итак, мы видим, что во всех видах применения математической теории систем декларируется один и тот же принцип ее использования. Сначала на чисто теоретическом основании формулируется математическая теория систем, и только после этого ее «задания» начинают применяться к объяснению тех или иных биологических явлений.

Для биолога и физиолога такая последовательность применения математической теории и формализации кажется весьма странной. Как можно чисто математическую модель, разработанную уже заранее в обход всех современных знаний об особенностях именно биологической организации, применить к объяснению и формулировке биологических закономерностей?

Так, например, в результате многолетней практики такого подхода ни одна из тысяч математических моделей нейрона абсолютно не отразила истинные особенности нейрона и ни на один шаг не продвинулись вперед наши знания о действительных законах его функционирования. Больше того, можно с уверенностью утверждать, что исследование нейрона с применением электронной микроскопии, микроионофореза, ультрацентрифугирования, культуры нейронов *in vitro* и нейрохимических исследований всегда на несколько десятков лет опережает довольно простенькие математические модели нейрона.

Не считаясь с действительными биологическими и физиологическими свойствами систем, математическая теория систем фактически переводит вопрос в плоскость настолько запутанного теоретизирования, что практически до сих пор она мало помогла разработке системного подхода в области биологических явлений.

В этом вопросе, по нашему мнению, предпочтительнее рассматривать в обратном порядке взаимодействие этих двух областей знаний. Нет сомнения, что реальные «системные закономерности» могут быть почерпнуты и разработаны только на основе конкретного материала биологии и физиологии последних дней. Именно этот материал и должен стать реальной основой формализации, и благодаря строгому и быстрому математическому осмысливанию этих закономерностей более реальной станет и перспектива развития наших знаний о биологических системах. Крайняя трудность заимствования результатов исследовательской работы теоретиков математических систем состоит именно в этом. Придавая первичное и решающее значение именно математической обработке биологических явлений, сторонники этого подхода крайне затрудняют использование их разработок биологами и физиологами-профессионалами.

Практически же сторонники математической теории систем не могут, на наш взгляд, формализовать истинную биологическую систему хотя бы уже по одному тому, что они, как это видно по формулировкам Месаровича, не исходят из наиболее существенных критериев оценки именно биологических систем.

В самом деле, можно ли математически определить биологическую систему, если мы не можем наделить эту модель системы самым важнейшим свойством живой системы: формированием потребности получить тот, а не другой результат, и определенный целью, которую обычно ставит перед собой биологическая система уже в самом начале формирования поведенческого акта. Ни одна из известных нам вариаций математической теории систем не решает этого кардинального вопроса, а это значит, что мы не можем признать полезными и любые математические выкладки, если они сформулированы без учета таких важных системообразующих факторов. Образно говоря, с точки зрения биолога и физиолога, математическая модель дает нам в какой-то степени приемлемую форму кузова автомобиля, однако она неспособна наградить его мотором и топливом...

Формируясь в пределах самой биологической системы на основе ее потребностей, внешних факторов и памяти, цель всегда опережает реализацию ее организмом, т. е. получение полезного результата.

Интересно, что Месарович, наиболее солидный теоретик биологических систем, в конце концов приходит к признанию, что математическая теория именно биологических систем не может быть построена без привлечения целенаправленного поведения. Он пишет по этому поводу в 1970 г.: «Существует важный класс ситуаций, в которых эффективное конструктивное задание системы удастся получить только при помощи описания, основанного на понятии целенаправленности (т. е. телеологического описания); при таком описании основной характер системы как некоторого (математического) отношения остается неизменным.

Под описанием, основанным на понятии целенаправленности, здесь подразумевается вся совокупность системных описаний, представленных с помощью понятий, которые выражают цели в поведении системы (такие, как адаптация, эволюция, управление, гомеостаз и т. п.)».

Однако при попытке представить себе эту «целенаправленность» в поведении систем математически Месарович приходит к таким упрощениям (стимул-ответам), что вообще теряется само явление целенаправленности. Так, одно из самых специфических свойств целенаправленности — принятие решения и предсказание результата — оказывается полностью не представленным в его рассуждениях.

Как из приведенного выше высказывания Месаровича, так и из других его работ очевидно, что он не видит своеобразных черт биологической системы, которые только искусственно, а потому и не конструктивно могут быть превращены в математическую модель. В самом деле, своеобразии биологической системы состоит в том, что потребность в каком-либо полезном результате и цель получения этого результата зреют внутри системы, в глубине ее метаболических и гормональных процессов, и только после этого по нервным «приводным ремням» эта потребность реализуется в поведенческих актах, допускающих в какой-то степени математическую формализацию. Этот путь возбуждений от реализации метаболической потребности в адекватных мотивационных структурах мозга до выявления первых попыток удовлетворения этой потребности изучен в настоящее время в нашей лаборатории с большой нейрофизиологической точностью (К. В. Судаков, Б. В. Журавлев, А. В. Котов и др.). Совершенно понятно поэтому (это отмечает и Месарович), что математическая модель системы накладывает ограничения именно на эти свойства биологической системы, т. е. по сути дела на то, что и составляет самую суть механизмов биологических систем.

Таким образом, вопрос о применимости и эффективности математической теории систем должен быть подвергнут специальной дискуссии.

Вопрос о том, какую помощь развитию системного подхода приносит математическая теория- систем, становится особенно острым, если мы применим к ней наиболее важный для биолога и физиолога критерий: прокладывает ли математическая теория систем тот концептуальный мост, который должен соединить два края пропасти — синтетический уровень подхода исследователя к биологическим объектам и аналитический уровень изучения этих объектов. Этот чисто аналитический уровень исследования в биологии и физиологии становится все более и более опасным и угрожает утопить нас в половодье разрозненных и часто не объединенных ничем фактов.

Самый смысл концептуального моста, как мы увидим ниже, состоит в том, что система должна объединить непрерывной детерминистической логикой оба края этой пропасти, что дало бы возможность исследователю

всегда видеть тот район целой системы, в котором ведутся его тончайшие аналитические исследования.

Само собой разумеется, что этот «мост» должен быть построен на материале фактов, терминов и понятий конкретных наук. Приходится глубоко сомневаться в том, что математическая модель системы обеспечит построение такого моста и значительно расширит творческие возможности исследователя. Тем не менее, поскольку этот вопрос является дискуссионным, оставим то или иное решение его специалистам этой области системного движения.

В связи со сказанным выше совершенно особо выглядит точка зрения современной общей теории систем на ведущие закономерности системы, а именно на взаимодействие множества неупорядоченных компонентов и перевода их в ранг упорядоченной системы. Изучая систему как совокупность математически сформулированных заданий, математик — теоретик системы — обычно не идет дальше своих наиболее излюбленных формулировок о «взаимодействии множества компонентов» при формировании системы.

ПОНЯТИЕ СИСТЕМЫ

Как показано в одной из последних работ (П. К. Анохин, 1970), взаимодействие как таковое не может сформировать систему, поскольку анализ истинных закономерностей функционирования с точки зрения функциональной системы раскрывает скорее механизм «содействия» компонентов, чем их «взаимодействие». Это серьезный вопрос, связанный с выработкой самого понятия системы, и он требует специального и подробного разбора.

Возникает вопрос: может ли взаимодействие компонентов, взятое само по себе, создать что-то системное, т. е. что-то упорядоченное. Неопределенность и неконструктивность всех приведенных выше формулировок делает понятным тот удивительный факт, что, несмотря на многолетнюю пропаганду, системный подход, в особенности общая теория систем Бергаланфи, не стал достаточно популярным среди исследователей конкретных организмов и не привел к значительному преобразованию самой исследовательской практики.

В самом деле, что специфически системного может извлечь исследователь-физиолог, например, из выражения «система — это комплекс взаимодействующих компонентов», если взаимодействие частей организма даже для начинающего исследователя является аксиоматическим фактором жизни?

Мне кажется, что именно здесь завязан тот узел, не развязав которого исследователь никогда не приблизится к истинным механизмам системы и потому, естественно, не сможет использовать ее в своей конкретной работе.

Попытаемся провести более глубокий анализ этих ходячих определений, чтобы вскрыть их недостаточность как для формулировки понятия системы, так и для утверждения ее как фактора научного прогресса. Прежде всего поставим перед собой вопрос: может ли вообще «взаимодействие компонентов» быть основой какого-то системного процесса. Мы даем совершенно определенный ответ: нет, не может. И этот ответ легко аргументировать на любом примере взаимодействия.

Для характеристики понятия множеств и для подсчета числа возможных степеней свободы для взаимодействия в этом множестве приведем пример расчета, сделанного Эшби. Он берет площадку с 400 лампочками (20x20) и делает расчет возможного количества комбинаций взаимодействий, которые можно составить из этих лампочек. Оказывается, что этих взаимодействий такое огромное количество (10^{10120}), что они превосходят общее количество атомов, содержащихся в видимой нами Вселенной (10^{73}).

Но ведь эта квадратная площадка с 400 лампочками в количественном отношении совершенно ничтожна по сравнению с головным мозгом. Для того чтобы применить такое же вычисление по отношению к мозгу, мы должны взять в качестве исходного количества «лампочек», т. е. нервных клеток, по крайней мере количество в 14 млрд.

Кроме того, известно, что соединения между этими «лампочками» идут через синаптические контакты, так что каждая располагает не двумя возможными состояниями, как в примере Эшби, а в среднем по крайней мере 5000 возможных состояний в зависимости от приходящих к синапсам импульсаций. Причем надо помнить, что каждый из этих контактов может придать состоянию нейрона особое качество.

Однако для полной характеристики «множества взаимодействий» на примере мозга даже и этого количественного расчета недостаточно. Мы непременно должны учесть также и те общие состояния каждого отдельного нейрона, которые определяют характер его участия во взаимодействиях нейронального множества.

Так, например, Буллок указывает, что имеется по крайней мере пять возможных изменений в градации состояний нейрона, а следовательно, и синаптического образования: возбуждение или торможение, облегчение или депрессия, положительное или отрицательное последствие (или оба вместе), спонтанное расслабление или тонизация нейрона, градуированные ответы спайкового или неспайкового характера.

Важно, что каждое из этих взаимодействующих «множеств»: нейрон, синапс, градуированное состояние нейрона и др. — может создать условие, при котором деятельность элемента в таком обширном «множестве» может радикально измениться, а это значит, что конечный результат деятельности мозга может быть иным. Трудно решить даже воображением задачу подсчета того количества комбинаций взаимодействий в целом мозге, которое может быть выведено из указанных выше цифр.

Однако, предложив решить эту задачу опытным математикам, мы получили совершенно фантастическую цифру. Оказалось, что число степеней свободы нервных клеток мозга с учетом всех тех переменных, которые были разобраны выше, может быть выражено единицей с таким количеством нулей, что они могут уместиться только на ленте длиной... в 9500000 километров. Стоит только представить себе это «множество», чтобы понять, что человек практически никогда не сможет использовать всех грандиозных резервов своей мозговой деятельности.

Представим себе, какой хаос сложился бы в нервной системе, если бы все это «множество» стало «взаимодействовать» и «взаимовлиять» друг на друга! Ясно, что этот хаос не допустил бы никакого организованного поведения целого организма. И тем не менее взаимодействие вообще все-таки непременно входит во все формулировки понятия системы как решающий критерий.

Нам кажется, что такое положение наблюдается потому, что этот важнейший вопрос никогда не был серьезно проанализирован до конца, по крайней мере для биологических систем, и именно поэтому мы не имеем исчерпывающей и научно обоснованной формулировки системы.

Применительно к поведенческому акту мы должны прежде всего исходить из абсолютно достоверного нейрофизиологического факта, что каждый отдельный нейрон потенциально имеет огромное число степеней свободы как объект взаимодействия с другими нейронами. Следовательно, говоря о взаимодействии вообще, мы тем самым неизбежно допускаем одновременное и неорганизованное использование всех этих степеней свободы нейрона.

И это действительно так, поскольку все формулировки понятия системы, делая акцент на «взаимодействии», не содержат в себе и не имеют даже в виду какие-либо факторы, ограничивающие многочисленные возможные степени свободы взаимодействия данного компонента с другими. Практически это касается не только центральной нервной системы, где этот процесс особенно отчетлив и многообразен. Это же наблюдается и в мышечной системе, где малейшее отклонение в механических соотношениях между сокращающимися мышцами ведет к хаосу и потере целенаправленности движения, и во многих химических конstellляциях.

Итак, мы пришли к очень важному выводу: взаимодействие, взятое в его общем виде, не может сформировать системы из «множества компонентов». Следовательно, и все формулировки понятия системы, основанные только на «взаимодействии» и на «упорядочении» компонентов, оказываются сами по себе несостоятельными.

Совершенно ясно, что именно в этом пункте мы имеем коренной недостаток в существующих подходах к выработке общей теории систем. Становится очевидным, что в проблему определения понятия системы необходимо ввести некоторые дополнительные аспекты, которые придали бы этому понятию конкретные механизмы организованного целого, детерминистически достоверного и логически понятного. Точнее говоря, мы должны вскрыть те детерминирующие факторы, которые освобождают компоненты системы от избыточных степеней свободы.

Внесение в формулировку системы выражения «упорядоченное множество» не исправляет исходного дефекта и, пожалуй, даже, наоборот, вносит в проблему некоторый привкус телеологического. В самом деле, кто «упорядочивает» распределение множества компонентов в системе? По какому критерию производится это «упорядочивание»? Не может же какое-либо множество стать «упорядоченным» без критерия (!) этой «упорядоченности». Должен быть конкретный фактор, который «упорядочивает» систему.

Ясно, что, не имея четкого ответа на эти вопросы, мы фактически продолжаем стоять на месте. Примером такой нечеткости может служить выражение Эшби, который определил существо «самоорганизующихся систем» как «изменение от неорганизованной системы к организованной». Все сказанное выше заставляет нас признать, что мы стоим перед необходимостью более глубоко проанализировать некоторые до сих пор еще не вскрытые детерминанты, направляющие взаимодействия компонентов в системе.

До тех пор пока системологи не определяют точно фактор, который радикально ограничивает степени свободы участвующих в данном множестве компонентов, все разговоры о системе и ее преимуществах перед несистемным подходом будут столь же неплодотворны, как до сих пор была неплодотворной в конкретной исследовательской работе и сама общая теория систем.

Ниже и будет сделана попытка вывести системообразующий фактор из свойств живого организма и обсудить изоморфность этого фактора для различных классов явлений (организма, машины, общества).

КОНКРЕТНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ КАК СИСТЕМООБРАЗУЮЩИЙ ФАКТОР

Достаточно понаблюдать после каких-либо нарушений за восстановлением какой-нибудь простой и очевидной функции с весьма четким результатом, например за удержанием тела человека в вертикальном положении, чтобы ответить с определенностью на поставленные выше вопросы.

Таким императивным фактором, использующим все возможности системы, является полезный результат системы, в данном случае вертикальная поза, и формируемая им обратная афферентация. Именно достаточность или недостаточность результата определяет поведение системы: в случае его достаточности организм переходит на формирование другой функциональной системы с другим полезным результатом, представляющим собой следующий этап в универсальном континууме результатов (П. К. Анохин, 1970).

В случае недостаточности полученного результата происходит стимулирование активирующих механизмов, возникает активный подбор новых компонентов, создается перемена степеней свободы действующих синаптических организаций и, наконец, после нескольких «проб и ошибок» находится совершенно достаточный приспособительный результат.

Мы не вскрываем всех детальных механизмов, при помощи которых система подбирает необходимый на данный момент результат. Это будет сделано в одном из последующих разделов статьи. Сейчас же нам необходимо лишь дать исчерпывающую формулировку системы, в которой результат является ведущим компонентом.

Включение в анализ результата как решающего звена системы значительно изменяет общепринятые взгляды на систему вообще и дает новое освещение ряду вопросов, подлежащих глубокому анализу.

Прежде всего оказывается возможным как всю деятельность системы, так и ее всевозможные изменения представить целиком в терминах результата, что еще более подчеркивает его решающую роль в поведении системы. Эта деятельность может быть полностью выражена в вопросах, отражающих различные этапы формирования системы:

- 1) какой результат должен быть получен?
- 2) когда именно должен быть получен результат?
- 3) какими механизмами должен быть получен результат?
- 4) как система убеждается в достаточности полученного результата?

По сути дела, эти четыре вопроса разрешаются основными узловыми механизмами системы. Вместе с тем в них выражено все то, ради чего формируется система.

Возьмем для примера последний вопрос. Центральная нервная система должна непременно получить информацию о полученном результате. Мы знаем, что в механических системах эта информация получила название «обратная связь». В нашей лаборатории она получила название «обратная афферентация» или «санкционирующая афферентация», поскольку она может санкционировать последнее распределение в системе эфферентных возбуждений, обеспечивших получение полезного результата.

Все это будет четко показано в дальнейшем изложении на основе конкретных физиологических механизмов. Сейчас же нам необходимо отметить одно решающее обстоятельство: результат обладает императивными возможностями реорганизовать распределение возбуждений в системе в соответствующем направлении.

Итак, мы видим, что формирование системы подчинено получению определенного полезного результата, а недостаточный результат может целиком реорганизовать систему и сформировать новую, с более совершенным взаимодействием компонентов, дающим достаточный результат. Что может быть более убедительным для доказательства справедливости положения о том, что результат является в самом деле центральным фактором системы. И вместе с тем что может быть очевиднее того, что не может быть понятия системы без ее полезного результата.

Правда, нам приходилось не раз слышать замечания, что система с результатом — это «специальный случай» системы. Но тогда очень важно было бы узнать, что является у системы без результата тем фактором, который обеспечивает переход, выражаясь языком Эшби, «от неорганизованного к организованному», т. е. от хаоса взаимодействия к системе.

Такое положение радикально меняет и наше отношение к понятию «взаимодействие», которое, как мы видели, будучи основным критерием для определения понятия системы у многих современных исследователей, определило общий неуспех всего направления.

Показанная выше роль результата во всех превращениях системы делает невозможной какую-либо формулировку системы, не основанную на роли результата в ее деятельности, ибо, как мы видели, только он может «изменить неорганизованное множество в организованное».

Важным последствием включения результата как решающего операционального фактора системы является то, что сразу же делаются понятными механизмы освобождения компонентов системы от избыточных степеней свободы. А ясность в этом вопросе — это серьезный шаг в разрешении противоречий, возникших в связи с недостаточностью понятия «взаимодействие».

Следует отметить, что, говоря о «степенях свободы» центральной нервной системы как важнейшего звена функциональной системы, мы имеем в виду не только степени свободы, определяемые количеством участвующих нейронов, но и степени свободы, определяемые количеством участвующих синапсов из всех синапсов, имеющихся на каждом из 14 млрд. нейронов.

В самом деле, допустим, что какая-либо система имеет в своем составе a, b, c, d, e-компоненты. Возникает вопрос, какие факторы устанавливают вполне определенные системные (!) взаимоотношения, например, между компонентами b и e. Что может вообще установить между всеми компонентами системы такие взаимоотношения, которые устранили бы хаос всеобщего взаимодействия, т. е. одновременной реализации всех степеней свободы каждого компонента?

Для нас ответ на этот вопрос является вполне определенным: упорядоченность во взаимодействии множества компонентов системы устанавливается на основе степени их содействия в получении целой системой строго определенного полезного результата. Степени же свободы каждого компонента системы — нейрона, не помогающие получению полезного результата, устраняются из активной деятельности.

Таким образом, к системе с полезным результатом ее деятельности более пригоден не термин «взаимодействие», а термин «взаимоСОдействие». Она должна представлять собой подлинную кооперацию компонентов множества, усилия которых направлены на получение конечного полезного результата. А это значит, что всякий компонент может войти в систему только в том случае, если он вносит свою долю содействия в получение запрограммированного результата.

Именно по этому принципу, как мы увидим ниже, и происходит вовлечение всякого нового компонента в трудных условиях функционирования для получения полезного результата. Компонент при своем вхождении в систему должен немедленно исключить все те степени своей свободы, которые мешают или не помогают получению результата данной системы. Наоборот, он максимально использует именно те степени свободы, которые в той или иной мере содействуют получению конечного полезного результата данной системы.

Главное качество биологической самоорганизующей системы и состоит в том, что она непрерывно и активно производит перебор степеней свободы множества компонентов, часто даже в микроинтервалах времени, чтобы включить те из них, которые приближают организм к получению полезного результата.

Возвращаясь к спору Бора и Эйнштейна о наиболее эффективном подходе к изучению целостных организаций, мы бы сказали, что термин «взаимодействие» звучит более феноменологически, нейтрально, в то время как термин взаимодействие звучит более каузально, активно, поскольку для создания этого взаимодействия включаются многие новые специализированные механизмы.

Несколько удивляет то обстоятельство, что, несмотря на весьма широко развивающийся в настоящее время системный подход к биологическим и техническим объектам, результат системной деятельности как решающий самоорганизующий фактор системы не был взят в качестве основного операционального фактора, а соответственно с этим не были даны формулировки и не сделаны те преобразования в наших поисках, которые заставляют ставить многие вопросы по-новому.

Суммируя все сказанное выше, мы можем теперь легко дать ту формулировку понятия системы, которая, с нашей точки зрения, наиболее полно отражает ее суть.

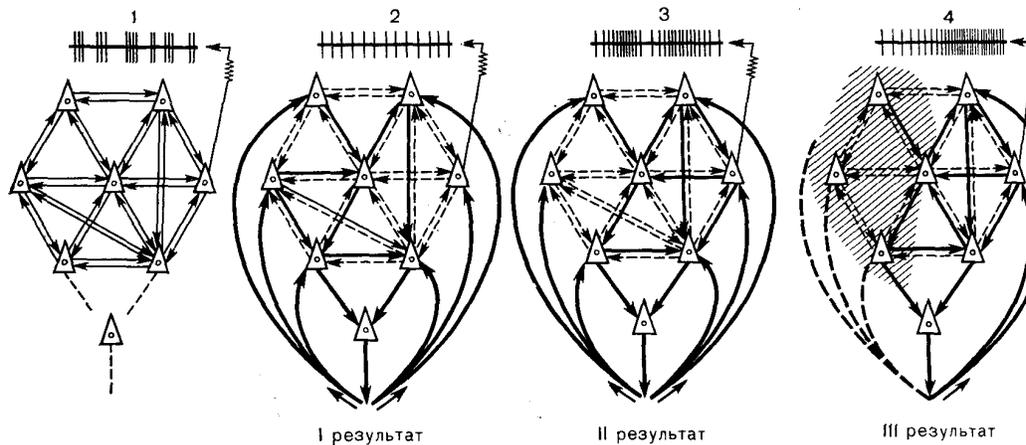
Системой можно назвать только такой комплекс избирательно вовлеченных компонентов, у которых взаимодействие и взаимоотношения принимают характер взаимодействия компонентов на получение фокусированного полезного результата.

Конкретным механизмом взаимодействия компонентов является освобождение их от избыточных степеней свободы, не нужных для получения данного конкретного результата, и, наоборот, сохранение всех тех степеней свободы, которые способствуют получению результата.

В свою очередь результат через характерные для него параметры и благодаря обратной афферентации имеет возможность реорганизовать систему, создавая такую форму взаимодействия между ее компонентами, которая является наиболее благоприятной для получения именно запрограммированного результата.

Таким образом, результат является неотъемлемым и решающим компонентом системы, инструментом, создающим упорядоченное взаимодействие между всеми другими ее компонентами.

Теперь мы сможем вполне определенно ответить на поставленный выше вопрос: какой фактор упорядочивает множество компонентов системы. Таким решающим и единственным фактором является результат, который, будучи недостаточным, активно влияет на отбор именно тех степеней свободы у компонентов системы, которые при их интегрировании определяют в дальнейшем получение полноценного результата (рис. 2).



2. Схематическое изображение упорядочивающего действия результата системы на реорганизацию ее степеней свободы.

Сплошные линии — взаимодействия между нервными элементами только на основе общего числа их степеней свободы (1) и ограничение избыточных степеней свободы системы благодаря обратной афферентации, формирующейся на основе различных параметров результата (2—4). Пунктирные линии — исключенные степени свободы. В качестве одиночной степени свободы для центральной нервной системы предполагается одиночное синаптическое образование.

Именно потому, что в нашей концепции результат оказывает центральное организующее влияние на все этапы формирования функциональной системы, а сам полезный результат является, несомненно, функциональным феноменом, мы и назвали всю архитектуру функциональной системой. Ниже будет дана более подробная аргументация этого понятия. Сейчас же мы считаем нужным разобрать одно принципиальное следствие нашей концепции для общепринятой кибернетической терминологии.

Имеется в виду прежде всего весьма распространенное выражение «управляющая система», которое ни семантически, ни логически не может быть принято теорией функциональной системы. В самом деле, что означает это выражение? Ничего, кроме традиционного игнорирования результата системы при обсуждении кибернетических закономерностей.

Действительно, выражение управляющая система по самой своей сути предполагает, что управляемый объект не является компонентом управляющей системы, т. е., попросту говоря, он находится за пределами (!) самой управляющей системы.

Из самого выражения «управляющая система» следует, что она уже сама является полноценной системой, несмотря на то что управляемый объект находится вне ее. С точки зрения всех решающих влияний результата на систему, которые были изложены выше, такое положение является неприемлемым.

В самом деле, стоит лишь поставить вопрос, что произойдет с управляющей системой, если результат, т. е. управляемый объект, окажется не совпадающим с запрограммированным результатом, т. е. если попросту результат окажется неполноценным.

На основании предложенных нами выше представлений о системе результат должен сам немедленно сигнализировать о своей недостаточности и стимулировать

управляющую систему на реорганизацию, которая временами заходит так далеко, что может привести к полной перемене установившихся взаимоотношений между компонентами системы.

Можно пойти еще дальше и поставить чисто риторический вопрос: откуда управляющая система «узнает», каким именно объектом ей надо управлять, если она уже система? Ведь чтобы управлять чем-то, надо иметь весьма адекватные связи и соотношения с управляемым. И не обстоит ли дело так, что уже начальные процессы формирования самой управляющей системы находятся полностью под управлением будущего, необходимого в данный момент организму результата?

Именно так позволяет смотреть на этот вопрос теория функциональной системы, которая включает приспособительный результат функционирования системы как органическую составную часть системы. Только в этом случае можно уйти от бесплодных терминов, которые, уводя мысль в сторону, несомненно, наносят ущерб пониманию самой системы. Именно к этому ведет чрезвычайно широко распространенная тенденция употреблять такие выражения, как «управляющая система», «управляемый объект», «управляемая система», «биоуправление» и т. д.

Как мы видели выше, при более глубоком анализе все эти понятия превращаются в научную фикцию, поскольку они не соответствуют истинным соотношениям в действительной регуляции, т. е. просто-напросто не имеют реального содержания.

Однако эта тенденция оперировать понятиями, не имеющими конкретной основы, отразилась и на построении моделей систем. Они все, как правило, имеют input и output, т. е. вход и выход. Большой частью выход замыкается на вход дополнительной петлей обратной связи.

Для примера можно указать на недостаточность схем Винера, Гродинса, Милсума, Эшби, Мак Кея, Паска и многих других, хотя они и внесли весьма полезный, а часто и решающий вклад в теорию регуляции.

Но что значит «выход» с точки зрения биологического объекта, например развитого организма? Выходом может быть и реальное возбуждение, выходящее всего лишь на эфферентные пути к рабочим органам; выходом может быть также и работа этих органов, т. е. то, что соответствует физиологическому термину «рефлекторное действие». Но этот выход никогда фактически не связывается с результатом функционирования системы, конкретные и измеримые параметры которого, как правило, определяют все дальнейшее поведение системы.

Традиция избегать результат действия как самостоятельную физиологическую категорию не случайна. Она отражает традиции рефлекторной теории, которая заканчивает «рефлекторную дугу» только действием, не вводя в поле зрения и не интерпретируя результат этого действия. Между тем сейчас становится все более и более очевидным, что именно результат функционирования системы является движущим фактором прогресса всего живого на нашей планете.

Еще одно замечание. Часто приходится встречаться с понятием «состояние системы», которое при неправильном его применении может повести мысль в ненужном направлении. Так, например, Ханике (1969) говорит: «Каждый раз, когда возникают возмущения равновесия, система стремится найти устойчивое состояние». Было бы совершенно непрогрессивным для живой природы, если бы система «стремилась» найти лишь устойчивое состояние.

Если уж употреблять термин «стремиться», то наиболее правильно такое выражение: система «стремится» получить запрограммированный результат и ради

этого результата может пойти на самые большие возмущения во взаимодействиях своих компонентов. Следовательно, центральным пунктом, ради которого происходят всякого рода «изменения состояний системы», является опять-таки результат. Именно он в случае затрудненного его получения может привести всю систему в крайне беспокойное и неустойчивое состояние. Итак, вся трактовка состояния системы радикально меняется, как только мы пойдем естественным путем, приняв в качестве центрального фактора получение системой полезного результата.

Но так как организм живет в среде непрерывного получения результата, в подлинном континууме результатов, то после достижения определенного фазного результата начинается «беспокойство» по поводу последующего результата.

Надо обратить внимание на одну особенность функциональной системы, не укладывающуюся в обычные физиологические представления. Речь идет о том, что содержание результата, или, выражаясь физиологическим языком, параметры результата, формируется системой в виде определенной модели (см. ниже) раньше, чем появится сам результат. Именно этот чудесный и реальный подарок всему живому на земле, имеющий характер предсказания, отпугнул от себя даже гениальных экспериментаторов.

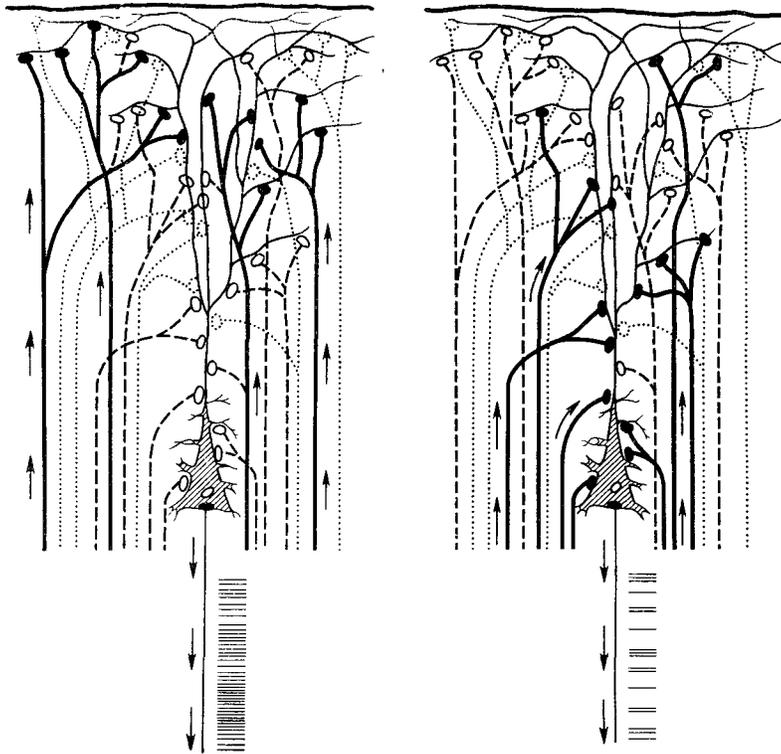
Вряд ли кто-либо из теоретиков павловского учения о высшей нервной деятельности обратил внимание на один, на первый взгляд, странный эпизод в генеалогии творческих приемов И. П. Павлова. Как известно, в 1916 г. смелый гений ученого замахнулся на самое тонкое и самое сокровенное в работе головного мозга человека — на цель поведения. И. П. Павлов назвал свое известное выступление по этому вопросу «Рефлекс цели». Казалось бы, с этого момента должна была развиваться бурная исследовательская деятельность павловской лаборатории по этому физиологически, психологически и идеологически столь важному вопросу. Однако нам хорошо известно, что И. П. Павлов никогда больше на протяжении всей своей дальнейшей жизни к этому вопросу не возвращался. Почему?

Нам кажется, что причина ухода И. П. Павлова от важнейшей проблемы — деятельности мозга — заключается в том, что сам факт возникновения цели для получения того или иного результата вступает в принципиальное противоречие с основными чертами рефлексорной теории. И. П. Павлов, несомненно, думал и об этом, несомненно, видел и то, что, поставив проблему цели, он вынужден был бы значительно перестроить то грандиозное здание, которое с такой гениальной смелостью и настойчивостью строил всю свою жизнь.

Как известно, представление о рефлексорном процессе построено на нерушимом принципе поступательного хода возбуждения от пункта к пункту по всей рефлексорной дуге.

В формировании цели И. П. Павлов, наоборот, встретился с совершенно неожиданным принципом работы нервной системы. Здесь модель конечного результата данного акта создается уже на начальных этапах распространения возбуждения, т. е. раньше, чем закончится весь процесс формирования поведенческого акта, и раньше, чем будет получен сам результат.

Действительно, совершенно ясно, что цель к получению данного результата возникает раньше, чем может быть получен сам результат. Причем интервал между этими двумя моментами может равняться и минуте, и годам... Такая грандиозная роль результата во всех поведенческих актах животных и человека, естественно, не может быть игнорирована, если мы хотим сформулировать системный подход и построить модель системы.



3. Схематическое изображение соотношений возбужденных и невозбужденных синапсов на нейроне. В зависимости от этих соотношений одна и та же клетка может выдавать разную активность.

Черные линии и точки — возбужденные в данный момент волокна и синапсы; пунктир и белые кружки — невозбужденные.

Сейчас, пожалуй, единственной областью, где результат, «полезность результата» и проблема оценки этого результата становится почти центральным фактором исследования, является область промышленно-экономических систем. Такой успех и значение результата именно в этой области системного подхода понятны, ибо здесь полезность деятельности делается настолько очевидной, что игнорировать ее было бы просто неразумно. В самом деле, если мы имеем «большую систему» в виде производственно связанных заводских агрегатов, например в нефтеперерабатывающей промышленности, то игнорирование полезности результата на уровне каждой подсистемы этой большой системы привело бы к расточительности и полной нерентабельности всего предприятия. Именно состояние ценности и полезности результата в каждой подсистеме этого предприятия и сочетание их с окончательным результатом могут дать решающее суждение о том, насколько полезен конечный результат и в какой степени выгодно все обширное предприятие.

Один из теоретиков полезности экономист Bross (1953) так определяет значение пользы: «Суд последней инстанции — это по блестящий словесный аргумент, не солидно звучащий абстрактный принцип и даже не ясная логика или математика, — это результат в реальном мире». Это высказывание весьма показательно для мышления

теоретиков управления предприятиями. По сути дела и большие системы организма также сотканы из малых субсистем. Наконец, результат деятельности целого организма также является «судом последней инстанции».

Мы уже видели, что именно отсутствие результата во всех формулировках системы и делает их неприемлемыми с операциональной точки зрения. Этот дефект полностью устранен в развиваемой нами теории функциональной системы.

1. В функциональной системе результат представляет собой ее органическую часть, оказывающую решающее влияние как на ход ее формирования, так и на все ее последующие реорганизации.

2. Наличие вполне определенного результата как решающего компонента функциональной системы делает недостаточным понятие «взаимодействия» в оценке отношений компонентов системы между собой. Именно результат отбирает все адекватные для данного момента степени свободы компонентов системы и фокусирует их усилие на себе.

3. Если деятельность системы заканчивается полезным в каком-то отношении результатом, то «взаимодействие» компонентов данной системы всегда будет протекать по типу их взаимодействия, направленного на получение результата.

4. Взаимодействие компонентов системы достигается тем, что каждый из них под влиянием афферентного синтеза или обратной афферентации освобождается от избыточных степеней свободы и объединяется с другими компонентами только на основе тех степеней свободы, которые вместе содействуют получению надежного конечного результата (рис. 3).

5. Включение результата в функциональную систему исключает необходимость применять как несовершенные формулировки самой системы, так и многие другие («управляющая система», «управляющий объект», «биоуправление» и т. д.).

СОСТАВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ И ИЕРАРХИЯ СИСТЕМ

После того как мы определили само понятие системы, другим важным общим вопросом характеристики системы является выяснение ее состава и роли отдельных компонентов функционирования системы. Определение состава необходимо еще и потому, что именно в этом пункте происходит довольно часто интерференция нового представления о системе со всем тем, что в прежнее время свободно определялось термином «система» без каких-либо строгих ограничений формулировок и понятий.

Критериями для употребления термина «система» являлось все, что представляло собой нечто упорядоченное по сравнению с другими явлениями, относящимися к иным классам (например, система кровообращения, система пищеварения, мышечная система и др.). Ясно, что здесь термин система употребляется в смысле принадлежности данного феномена к определенному типу анатомических преобразований, объединенных типом функционирования. Еще и до сих пор имеются исследователи, которые видят в употреблении термина «система» только этот смысл.

Говоря о системе в этом последнем смысле, мы выделяем из целого организма какую-то часть, объединенную типом анатомического строения или типом функционирования, и по сути дела исключаем возможность понимания этих выделенных структур в истинном системном плане. Совершенно очевидно, что система кровообращения никогда не выступает

как нечто отдельное, ибо это было бы нонсенсом физиологии. В полноценном организме кровообращение всегда ведет к получению какого-то приспособительного результата (уровня кровяного давления, скорости кровотока и т. д.). Однако ни один из этих результатов нельзя получить только за счет системы кровообращения. Сюда непременно включаются нервная и эндокринная системы и др. И все эти компоненты объединены по принципу взаимодействия. Поэтому при новом системном подходе вопрос идет об акценте не на каком-либо анатомическом признаке участвующего компонента, а на принципах организации многих компонентов, из многих анатомических систем, с непременным получением результата деятельности этой разветвленной гетерогенной системы.

Очень часто приходится встречаться с каким-то нарочитым подчеркиванием именно структурно-анатомической принадлежности компонентов системы (например, «структурно-системная организация», «структурные уровни» и т. д.). Это, однако, ведет к неправильной ориентации читателя. В самом деле, что значит «структурно-системный»? Разве может быть какая-то система организма, например дающая полезный приспособительный результат, бесструктурной, т. е. функционировать без структуры?

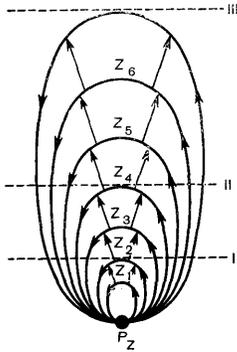
С самого начала надо подчеркнуть, что функциональные системы организма складываются из динамически мобилизуемых структур в масштабе целого организма и на их деятельности и окончательном результате не отражается исключительное влияние какого-нибудь анатомического типа участвующей структуры. Больше того, компоненты той или иной анатомической принадлежности мобилизуются и вовлекаются в функциональную систему только в меру их содействия получению запрограммированного результата.

Как мы уже видели из всего изложенного, эти компоненты, входя в систему, теряют свои избыточные степени свободы; остаются лишь те из них, которые содействуют получению именно данного полезного результата, поскольку поведение в целом представляет собой истинный континуум результатов. Едва ли поэтому будет разумным то терминологическое усложнение, которое вводится термином «структурно-системные отношения».

Кроме того, нельзя не отметить и того, что внесение понятия структуры в формулировку системы привносит привкус чего-то жестко структурно детерминированного. Между тем одним из самых характерных свойств функциональной системы является именно динамическая изменчивость входящих в нее структурных компонентов, изменчивость, продолжающаяся до тех пор, пока не будет получен соответствующий полезный результат. Ясно, что на первый план в формировании истинно функциональных систем выступают законы результата и динамической мобилизуемости структур, обеспечивающие быстрое формирование функциональной системы и получение данного результата.

Нам хотелось бы отметить одно важное обстоятельство, которое проходит мимо внимания исследователя. Это свойство внезапной мобилизуемости структурных элементов организма в соответствии с непрерывными функциональными требованиями, которые функция предъявляет к структуре. Под свойством мобилизуемости мы понимаем возможность моментального построения любых дробных комбинаций, обеспечивающих функциональной системе получение полезного приспособительного результата.

Практически, если бы не было этой потенциальной способности структур к



4. Схема иерархических объединений функциональных систем различной сложности, но построенных на одном пейсмекерном физиологическом образовании, например на возбуждениях пищевого центра. Схема дает возможность сопоставить реальную организацию функциональных систем $Z_1, 2, \dots, 6$ имеющих общий пейсмекер (P_z).

Пунктирные линии показывают, что функциональные системы такого типа не могут быть поняты из концепции уровня, так как любой уровень организации неизбежно связан с энергетическим пунктом, питающим системы различных уровней.

внезапной мобилизуемости, причем в любой аранжировке, моментальная организация функциональных систем была бы просто невозможна и, следовательно, приспособление было бы несовершенным.

Так, например, сидя за письменным столом, мы можем взять с него предмет правой рукой, но если нам в этот момент необходим другой предмет, лежащий позади нас, то мы с такой же легкостью, разворачивая руку в сторону, можем взять и этот предмет. Ясно, что только способность иннервационных аппаратов мышц к внезапной перестройке и к выборочной организации отдельных drobных компонентов и обеспечивает формирование функциональных систем, полезных в данный момент.

Таким образом, существование результата системы как определяющего фактора для формирования функциональной системы и ее фазовых реорганизаций и наличие специфического строения структурных аппаратов, дающего возможность немедленной мобилизации объединения их в функциональную систему, говорят о том, что истинные системы организма всегда функциональны по своей сути. Это значит, что функциональный принцип выборочной мобилизации структур является доминирующим, и потому вполне естественно назвать такую систему функциональной, что мы в свое время и сделали (П. К. Анохин, 1935).

В связи с вопросом структурного состава функциональной системы возникает также и вопрос об иерархии систем, который становится в последние годы все более и более актуальным. Мы никогда не имеем по-настоящему изолированные функциональные системы организма, можно только с дидактической целью выбрать определенную систему, обеспечивающую какой-то результат на данном уровне иерархии систем (рис. 4).

Так, например, соотношение актина и актомиозина, конечно, составляет по своей операциональной архитектонике вполне очерченную функциональную систему, заканчивающуюся положительным результатом, который можно было бы сформулировать как сокращение мышечной фибриллы. Но такая функциональная система представляется лишь промежуточной между еще более тонкими молекулярными соотношениями протоплазмы мышечной клетки и между движением (например, движением охотника по лесу в поисках дичи), поскольку это движение осуществляется, в конце концов, также с помощью актина и актомиозина. Но как обширен диапазон, в который включено множество функциональных систем, составляющих эту грандиозную иерархию систем!

Естественно поэтому, что, говоря о составе функциональной системы, мы должны иметь в виду, что каждая функциональная система, взятая для исследования, неизбежно находится где-то между тончайшими молекулярными системами и наиболее высоким уровнем системной организации в виде, например, целого поведенческого акта.

Нетрудно понять, что, раскрыв реальные физиологические механизмы объединения функциональных систем различных уровней, мы приблизились бы к решению проблемы органического объединения анализа и синтеза в самом исследовательском процессе.

В самом деле, сокращение мышечного волокна представилось бы нам в двух аспектах: с одной стороны, это могло бы быть сокращение как процесс вообще сократительных структур, а с другой — сокращение, составляющее какую-то очень дробную подсистему, например в спортивном прыжке. Ясно, что мы имеем грандиозное различие в составе этих систем и, может быть, еще более грандиозную задачу определения места компонента в большой системе.

В последние годы вопрос об «уровнях» организации больших систем особенно подчеркивается рядом советских (Кремянский, Введенев и др.) и зарубежных авторов (Джерард, Браун, Новиков и др.). Наиболее полный обзор этого направления в поисках интегративных закономерностей дан в книге и статьях В. И. Кремянского. Это направление выступает под различными названиями: «интегративные уровни», «структурные уровни», «иерархия систем» и др.

Однако опять-таки в силу того же излишнего теоретизирования ни одни из авторов не дает ничего конструктивного для конкретного исследовательского процесса и не отвечает на основные вопросы иерархии.

В сущности на это указывает и употребление термина «уровни», который находится в абсолютном противоречии с понятием «система». Главное же то, что ни в одной концепции уровни не обладают какой-либо функциональной архитектурой и, следовательно, как способ соединения уровней, так и механизмы, удерживающие единство всей архитектуры целого, естественно, не могут быть найдены.

Все сказанное выше с совершенной очевидностью убеждает нас в том, что перед исследователем стоят по крайней мере два кардинальных вопроса, не решив которые он не может надеяться на понимание тонких механизмов сложных функциональных систем организма.

Несколько лет назад эти вопросы были сформулированы нами в следующем виде.

1. Различается ли чем-либо принципиально архитектура функционирования как у весьма элементарных, так и у сложных подсистем? Иначе говоря, функционируют ли системы всех уровней по одной и той же архитектуре, которая характерна для функциональной системы вообще, или эти архитектуры чем-то отличаются друг от друга?

2. Какими конкретными механизмами соединяются между собой подсистемы при образовании суперсистемы? Учитывая наличие в функциональной системе определенного количества специфических для нее узловых механизмов, вопрос можно поставить более конкретно: какими именно узловыми механизмами своей архитектуры соединяются подсистемы, чтобы образовать суперсистему?

Не объединяются ли по этому же принципу и «большие системы» промышленных предприятий? Мы предоставляем право судить об этом соответствующим специалистам. Но если бы это было так, перед нами встал бы вопрос о замечательной

гармонии в организации всех тех систем, где результат является решающим фактором системообразования.

Мы допускаем, что при анализе такого ответственного вопроса, как объединение subsystem в суперсистему, могут возникнуть другие вопросы, однако несомненно одно, что без решения двух поставленных выше вопросов нельзя надеяться на решение всей проблемы иерархии систем в целом. Они принципиальны по своей сути.

Отвечая на первый вопрос, нужно исходить из того вывода, к которому мы пришли при формулировке самого понятия «система». Центральным моментом для системы является результат, так как любой комплекс и любое множество становятся системой только благодаря результату. Вместе с тем система не может быть стабильной, если сам результат своими существенными параметрами не влияет на систему обратной афферентацией. А если это так, то любая система, какой бы значительной она ни была в иерархическом ряду, должна подчиняться этим правилам.

Все эти соображения приводят нас к окончательному и фундаментальному выводу о составе иерархии: все функциональные системы независимо от уровня своей организации и от количества составляющих их компонентов имеют принципиально одну и ту же функциональную архитектуру, в которой результат является доминирующим фактором, стабилизирующим организацию систем.

Решение второго из поставленных выше вопросов облегчается принятием положения, что архитектуры систем принципиально тождественны.

Если допустить, что какие-то subsystemы соединяются между собой, вступают в контакт с помощью каких-то промежуточных механизмов, ведущих к получению полезного результата, то сразу же будет видно, что такое допущение не может быть сделано. Тогда какие-то subsystemы не смогут развить своего основного функционального смысла, т. е. получения результата, и, таким образом, сама система не может быть названа системой. Поэтому наиболее вероятно, что именно полезный результат системы, какой бы малой она ни была, представляет тот реальный вклад, который она может сделать при образовании суперсистемы, или «большой системы».

Отсюда следует, что при образовании иерархии систем всякий более низкий уровень систем должен как-то организовать контакт результатов, что и может составить следующий, более высокий уровень систем и т. д. Очевидно, организм формирует свои системы именно таким образом, и только при этом возможно организовать системы с обширным количеством компонентов. Естественно, что в этом случае «иерархия систем» превращается в иерархию результатов каждой из subsystem предьдущего уровня.

Другой важный вопрос, возникающий при образовании иерархии систем, состоит в следующем: как действует эта субординированная иерархия, когда ей надо выступать как целое?

Хороший пример представляет соотношение уровня кровяного давления и какого-либо эмоционального состояния, возникшего под влиянием внешних воздействий. Мы знаем, что при возникновении эмоции, например страха, происходит быстрый подъем кровяного давления, что имеет несомненное приспособительное значение. Но в то же время мы знаем, что постоянный уровень кровяного давления представляет собой результат самостоятельной разветвленной функциональной системы, независимой от эмоционального разряда (П. К. Анохин, 1960). Как эмоциональный разряд, возникший по внешнему поводу, находит

доступ к функциональной системе кровообращения? На какие компоненты этой более низко организованной системы действует эмоциональный разряд?

Кора головного мозга и вызванная ею эмоция заинтересованы в поддержании высокого уровня кровоснабжения и метаболических процессов в условиях стрессового состояния целого организма. Поэтому ясно, что эмоциональный разряд должен оказать свое действие на «результат» функциональной системы — на уровень кровяного давления. Но этот уровень — физическая величина.

Таким образом, эмоциональный разряд должен действовать прежде всего на эфферентные механизмы, определяющие уровень кровяного давления. Следовательно, в нисходящем направлении эмоциональный разряд должен подействовать на эфферентное звено системы, определяющее уровень давления, т. е. на сосудосуживающий центр.

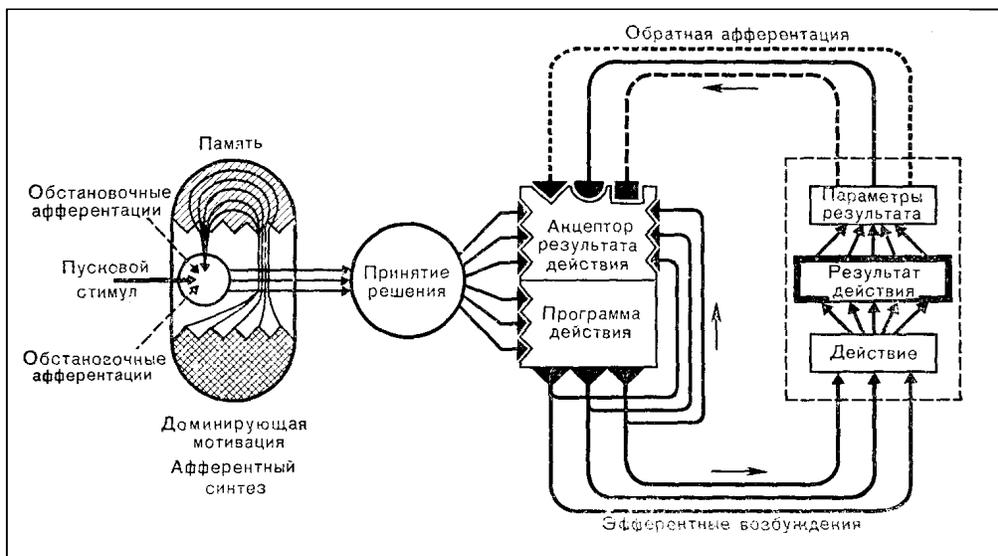
Обращает на себя внимание один весьма интересный факт: в этом случае уровень кровяного давления не зависит от того эфферентного синтеза, который производится ежесекундно сосудосуживающим центром на основе барорецепторной эфферентной сигнализации. В случае эмоционального разряда возбуждение суперсистемы прямо занимает эфферентные пути subsystemы и устанавливает нужный уровень кровяного давления, минуя эфферентный синтез «хозяина» subsystemы. На долю же этой последней остается лишь сопротивляться при помощи барорецепторов чрезмерному давлению, оказываемому на ее сосуды...

Подводя итог сказанному, следует заметить, что главной чертой каждой функциональной системы является ее динамичность. Структурные образования, составляющие функциональные системы, обладают исключительной мобилизуемостью. Именно это свойство систем и дает им возможность быть пластичными, внезапно менять свою архитектуру в поисках запрограммированного полезного результата.

ВНУТРЕННЯЯ ОПЕРАЦИОНАЛЬНАЯ АРХИТЕКТОНИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Не будет преувеличением сказать, что трудность развития системного подхода вообще и «общей теории систем» Бергаланфи в частности состоит именно в том, что обсуждение ведется на уровне глобальных свойств системы, так сказать обсуждение системы «черного ящика». Подавляющее большинство исследователей не делают попытки проникнуть во внутреннюю архитектуру системы и дать сравнительную оценку специфических свойств ее внутренних механизмов. При таком подходе обсуждаемая система всегда выглядит как нечто гомогенное, в котором клетки одинаковы, все компоненты равноценны и все механизмы разнозначны.

В действительности же дело обстоит совсем наоборот. Функциональная система всегда гетерогенна. Она всегда состоит из определенного количества узловых механизмов, каждый из которых занимает свое собственное место и является специфическим для всего процесса формирования функциональной системы. Становится очевидным, что, не вскрыв этих своеобразных механизмов, составляющих внутреннюю операциональную архитектуру системы, мы не приблизимся к самой решающей цели системного подхода вообще — обеспечению органического единства в исследовательском процессе системного уровня функционирования с индивидуальной характеристикой каждого дробного элемента или механизма, принимающего участие в этом функционировании (рис. 5).



5. Общая архитектура функциональной системы, представляющая собой основу «концептуального моста» между уровнями системных и аналитических процессов.

Смысл системного подхода состоит именно в том, что элемент или компонент функционирования не должен пониматься как самостоятельное и независимое образование. Он должен пониматься как элемент, чьи оставшиеся степени свободы подчинены общему плану функционирования системы, направляемому получением полезного результата. Компонент должен быть органическим звеном в весьма обширной кооперации с другими компонентами системы. Естественно, что это правило относится к любому компоненту любой подсистемы, как бы элементарна она ни была.

Одним из существенных и даже, пожалуй, решающих отличий теории функциональной системы от всех предлагаемых к обсуждению системных моделей является наличие в ней четко отработанной внутренней операциональной архитектоники. Такая внутренняя архитектура, выраженная в физиологических понятиях, является непосредственным инструментом для практического применения функциональной системы в исследовательской работе, если даже она касается молекулярного уровня исследуемого объекта.

Практически система может стать методологическим прищитом исследования и перебросить концептуальный мост от синтетических обобщений к аналитическим деталям только в том случае, если она будет иметь четко очерченную, физиологически достоверную и логически оправданную внутреннюю архитектуру.

Внутренняя архитектура функциональной системы выражает собой дальнейшее развитие идеи взаимодействия компонентов системы, она раскрывает ее тонкие механизмы, при помощи которых компоненты системы освобождаются от избыточных степеней свободы, чтобы установить взаимосвязь с другими компонентами на основе императивного влияния результата на всю систему.

В одной из своих работ Эшби очень разумно говорит о том, что сама множественность компонентов системы и их потенциально безграничное

взаимодействие должны быть упрощены в соответствии с требованиями анализа, поскольку, как мы видели на примере с площадкой с 400 лампочками, совершенно невозможно эффективно анализировать хаотические «взаимодействия» этого множества. Именно это обстоятельство заставило его говорить об упрощении и об «улучшенной логике механизма». Он выразился даже еще более радикально, говоря, что «теория систем должна строиться на методах упрощения и что она представляет собой науку упрощения» (Эшби, 1962).

Однако опять-таки он не указывает самого важного: на основе какого же критерия должна быть построена «логика механизма» и должно быть произведено «упрощение множества». Теория функциональной системы решает этот вопрос четко и обоснованно. Центральным критерием упрощения множества является результат системы, который, как мы видели, предъявляет решающие требования к определенным степеням свободы компонентов системы. С точки зрения теории функциональной системы, «улучшенная логика механизма» есть не что иное, как внутренняя операциональная архитектура системы, отвечающая на все требования тончайшего физиологического анализа механизмов системы до молекулярного уровня включительно.

Ниже мы приводим узловые специфические механизмы, представляющие собой внутреннюю архитектуру системы и вместе с тем обеспечивающие объединение в одной исходной концепции и высшего синтеза и тончайшего анализа.

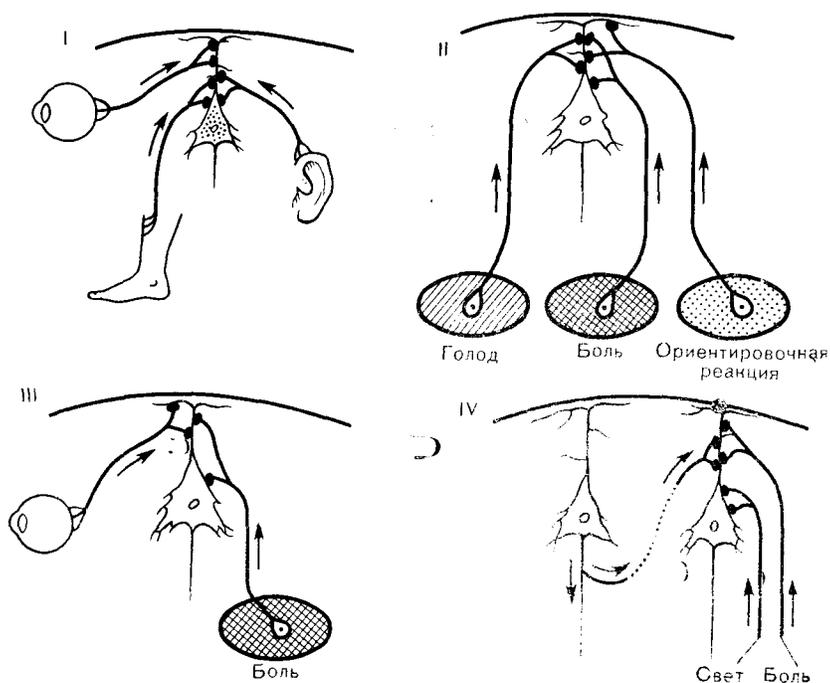
АФФЕРЕНТНЫЙ СИНТЕЗ

Как мы уже установили в начале раздела, для функциональной системы характерно то, что вопрос, какой результат должен быть получен, решается внутри системы и на основе ее закономерных механизмов. Это обстоятельство радикально отличает биосистему от самых сложных машинных устройств автоматической регуляции. Практически для всех машин цель поставлена за пределами машины и для нее допускается лишь некоторая способность самоорганизации в процессе получения запрограммированного не ею результата. Биосистема даже очень простой иерархии сама, на основе своих внутренних процессов, принимает решение о том, какой результат нужен в данный момент ее приспособительной деятельности. Вопрос этот решается именно в стадии афферентного синтеза.

Поскольку этот процесс много раз описывался нами в различных публикациях, мы дадим здесь лишь краткую формулировку его особенностей. Прежде всего вопрос о его составе. Какие именно афференты синтезируются в этой стадии?

Мы предложили четыре решающих компонента афферентного синтеза, которые должны быть подвергнуты одновременной обработке с одновременным взаимодействием на уровне отдельных нейронов: доминирующая на данный момент мотивация, обстановочная афферентация, также соответствующая данному моменту, пусковая афферентация и, наконец, память (рис. 6).

Основным условием афферентного синтеза является одновременная встреча всех четырех участников этой стадии функциональной системы. Микроэлектродпын и микрохимический анализы и другие формы аналитического исследования нейрона в момент встречи на нем всех упомянутых выше типов возбуждений показали, что этот процесс поддерживается и облегчается рядом динамических процессов нервной



6. Различные типы конвергенции возбуждений на одном и том же нейроне.

I — мультисенсорная конвергенция — встреча возбуждений от различных рецепторных поверхностей; II — мультибиологическая конвергенция — возможность конвергенции от различных биологических состояний, например голода, боли, ориентировочно-исследовательской реакции; III — сенсорно-биологическая конвергенция, благодаря которой различные сенсорные возбуждения имеют возможность вступать в контакт с биологическими состояниями организма, широко генерализованными по огромному количеству корковых и подкорковых нейронов; IV — аксонально-сенсорно-биологическая конвергенция, благодаря которой на одном и том же нейроне или на комплексе нейронов создается возможность встречи не только сенсорных, биологических, интрацентральных возбуждений, но и тех возбуждений, которые выходят на конечный нейрон в виде эфферентных. Эти возбуждения отходят по коллатеральным ответвлениям от основного аксона. Такая конвергенция возбуждений с полифункциональным содержанием представляет собой подлинный интегративный блок.

системы. К ним относятся прежде всего восходящая активация, вызванная ориентировочно-исследовательской реакцией, как правило, сопутствующая афферентному синтезу и предшествующая принятию решения, процесс корково-подкорковой реверберации и процесс центробежного повышения возбудимости вовлеченных в афферентный синтез рецепторов.

Своеобразие состоит в том, что этот синтетический процесс, если его отнести к масштабам нейрона, совершается на основе центральной закономерности интегративной деятельности мозга, именно на основе конвергенции возбуждений на одном и том же нейроне.

Нам хотелось бы обратить внимание на следующее: одновременность обработки всех четырех типов возбуждений в стадии афферентного синтеза основана на том, что каждый из них приобретает свои особенные физиологические свойства именно в процессе симультанной обработки. Именно здесь происходит освобождение нейрона от избыточных степеней свободы благодаря приходу к нему именно тех, а не других возбуждений.

В связи с этим уместно отметить, что существующая в нейрофизиологии тенденция изучать и рассматривать такие компоненты афферентного

Синтеза, как мотивация, память, стимул и т. п., в качестве отдельных, самодовлеющих проблем неверна и малоэффективна.

Возьмем, например, проблему памяти. Взятая в отдельности, сама по себе, как самодовлеющая проблема, она уже показала, что может повести мысль исследователя совершенно в другую сторону. Действительно, в каком аспекте сейчас развивается проблема памяти? Подавляющее большинство исследователей проблемы памяти все внимание сосредоточивают на моменте фиксации пережитого опыта живой системы. Это, несомненно, важная сторона памяти, но совсем по-другому выглядит весь вопрос о ней, как только мы будем ее рассматривать как один из компонентов, органически включенных в проблему принятия решения. Здесь сразу же центр событий перемещается с фиксации опыта на динамическое извлечение этого опыта из молекулярных агрегатов большой системы.

Этот процесс извлечения из памяти является еще более поразительным, если вспомнить, с какой легкостью он ежесекундно и безошибочно помогает принять нужное решение в конце афферентного синтеза. Обратим внимание, с какой легкостью мы извлекаем из памяти самые тончайшие нюансы нашей мысли, разговора и всего того, что было накоплено за всю нашу жизнь. Совершенно очевидно, что эта чудесная способность памяти быть готовой ежесекундно отдать то, что было накоплено за много лет и что требуется в данной стадии афферентного синтеза, не может быть изучена иначе, как на основе полного контакта и взаимодействия всех четырех компонентов афферентного синтеза.

Значительное облегчение при решении проблемы афферентного синтеза нам принесла разработка концепции об интегративной деятельности нейрона. Она дала возможность сформулировать положение, на основе которого строится динамическое участие памяти в афферентном синтезе: извлечение прошлого опыта из памяти происходит по той же нейрохимической трассе, по которой он был зафиксирован в момент приобретения опыта (П. К. Анохин, 1974).

Таким образом, афферентный синтез, приводящий организм к решению вопроса, какой именно результат должен быть получен в данный момент, обеспечивает постановку цели, достижению которой и будет посвящена вся дальнейшая логика системы.

Нетрудно видеть, что афферентный синтез, являющийся абсолютно необходимым этапом формирования функциональной системы, содержит все необходимое для постановки цели, которая так долго пугала исследователя-материалиста и так долго находилась в безраздельном владении идеализма.

Все детали афферентного синтеза в нашей лаборатории изучаются на протяжении многих лет с помощью экспериментально-физиологических методик. Так, например, неразделимое единство пусковой и обстановочной афферентации было показано на основе опытов с жстирпацией лобных отделов коры собаки и последующим изучением реакции выбора на различные условные раздражители (А. И. Шумилина).

В последнее время были подробно изучены различные виды восходящих активирующих влияний, которые своеобразно помогают афферентному синтезу. Здесь прежде всего надо указать на чрезвычайное увеличение дискриминационной способности коркового нейрона к частоте импульсаций под влиянием «мотивационных» раздражений гипоталамуса (С. Н. Хаютин, 1971). Другой важный механизм, выявляющийся при раздражении лимбической системы, — это перевод нейронов из категории мономодальных в мультikonвергентную категорию

(В. А. Макаров, 1970). Легко видеть, что уже только эти два механизма могут значительно повысить информационную емкость нейрона и, следовательно, вместе с другими описанными выше механизмами сделать особенно эффективной стадию афферентного синтеза. К разряду механизмов, облегчающих афферентный синтез, надо отнести также детекторные свойства периферических рецепторов и побочное вытормаживание «шумовых процессов» при прохождении афферентной информации по центральной нервной системе.

Особенно подробно (до микроэлектродной и до микрохимической методик включительно) была изучена роль доминирующей мотивации в установлении синтетических взаимодействий в этой стадии на поверхности одиночного нейрона. Само собой разумеется, что возможность такого тонкого анализа отдельных процессов, составляющих систему, появилась только тогда, когда была выработана «улучшенная логика механизма», т. е. внутренняя операциональная архитектура системы.

В управленческом деле, как и в биологических системах, также следует поставить вопрос, какой результат должен быть получен системой. Иначе говоря, совокупность всех предварительных расчетов и соображений должна составить (например, в торговом деле) основу афферентного синтеза, приводящего к решению и выбору действия с наилучшим результатом. Так, например, Ханике (1969), касаясь проблемы управления, пишет: «Цель заключается в том, чтобы обеспечить принятие решений на основе систематического анализа».

Насколько отчетливо именно в проблеме управления предприятиями встают вопросы о необходимости афферентного синтеза, совершенно схожие с биологическими проблемами, видно из того удивительного совпадения, которое получилось в аргументации Ханике и нашей собственной по поводу роли афферентного синтеза.

Для выявления наличия широкого афферентного синтеза у человека перед принятием решения рассмотрим пример, когда пешеход переходит улицу. Перед тем как принять решение о переходе, человек должен тщательно оценить довольно большое количество компонентов этого афферентного синтеза (число машин, скорость движения, ширину улицы, свои силы и др.). Аргументируя наличие этой стадии в системной деятельности человека, Ханике также приводит именно этот пример, перечисляя все параметры, которые должны быть учтены для принятия решения о переходе.

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ

Принятие решения — один из самых интересных моментов в развертывании системных процессов. Тот факт, что само понятие принятия решения долгое время изгонялось так называемой чистой наукой из области научных исследований, — лучшее доказательство того, что оно происходит на основе весьма комплексных процессов мозга.

В настоящее время, как видно из предыдущего изложения, теория функциональной системы сделала «принятие решения» полноценным участником объективного процесса формирования системы, критического процесса, благодаря которому афферентная оценка всех условий завершается доступным исследованием механизмом. Афферентный синтез, подчиняясь доминирующей в данный момент мотивации и под коррекцией памяти, ведет такой подбор возможных степеней свободы, при котором возбуждения избирательно направляются к мышцам, совершающим нужное действие.

Возникает весьма существенный для всей нашей концепции вопрос, когда и как происходит принятие решения о получении именно того, а не другого результата.

Последние данные сотрудников нашей лаборатории (А. И. Шумилина, В. Б. Швырков) заставляют думать, что оценка возможных результатов при данной доминирующей мотивации происходит уже в стадии афферентного синтеза. Однако эти результаты не получаются реально, а следовательно, их оценка происходит при помощи какого-то пока не изученного нами механизма. То же, что происходит в «принятии решения», является уже результатом выбора на основе длительной оценки различных, в н у т р е н н е (!) формирующихся результатов.

Иначе говоря, любое принятие решения, после того как закончится афферентный синтез, является выбором наиболее подходящих степеней свободы в тех компонентах, которые должны составить рабочую часть системы. В свою очередь эти оставшиеся степени свободы дают возможность экономно осуществить именно то действие, которое должно привести к запрограммированному результату.

Как происходит это освобождение от избыточных степеней свободы? Почему момент принятия решения часто имеет характер внезапной интуиции? В настоящее время мы еще не можем ответить на эти вопросы, но выработанный подход к ним дает полную гарантию того, что принятие решения в биологических системах с большой и малой иерархией является вполне анализируемым и доступным для объективной науки феноменом. Прежние опыты А. И. Шумилиной, которая производила удаление лобных отделов у собаки, находящейся в условиях активного выбора одной из сторон станка, убедительно показали, что в этот момент, т. е. в момент принятия решения, вся обрабатываемая информация интегрируется именно в области лобных отделов, откуда и идет команда к подбору наиболее оптимальных аппаратов поведения.

Интересно отметить, что, являясь наиболее требовательным к объему афферентной информации, процесс принятия решения страдает в первую очередь после различных вмешательств в центральную нервную систему. Весьма доказательной иллюстрацией являются результаты опытов Gambaryan (1971). Разрушая некоторые подкорковые аппараты (бледное тело и др.), он нашел, что прежде всего длительно страдает активный выбор стороны станка, на которой должно быть сделано пищевое подкрепление. Наоборот, казалось бы, более сложный «произвольный акт» — нажатие педали для подачи корма — остается неразрушенным или мало пострадавшим.

Попытаемся понять сам момент принятия вполне определенного решения с точки зрения общефизиологических закономерностей. Его механизмы станут ясными, если мы представим себе на минуту, какое количество возможных действий может сделать человек, употребляя хотя бы только один мышечный аппарат. Мы уже знаем, что вся афферентная часть организма должна обладать свойством экстренной мобилизуемости. Малейшего изменения в распределении мышечных усилий достаточно для того, чтобы было произведено вполне целенаправленное движение конечности или целого организма.

Принципиально таких возможностей движения у организма существует необозримое множество — вероятно, не меньше, чем количества комбинаций взаимодействия на площадке с 400 лампочками. Вместе с тем мы знаем, что в каждом

отдельном случае, в соответствии с принятым решением, возбуждения выходят на совершенно определенные мышечные группы. Иначе говоря, происходит очень быстрое отбрасывание всех тех степеней свободы в наших движениях, которые не соответствовали бы принятому решению. Таким образом, сама проблема реализации принятого решения в физиологическом плане должна объяснить два важных вопроса:

1. Какие механизмы производят отбор нужных в данный момент степеней свободы и вытормаживают все те степени свободы на моторных нейронах и мышечных аппаратах, которые не имеют отношения к получению данного результата.

2. Где может быть преимущественная локализация этого в высшей степени конденсированного процесса, который одновременно обрабатывает на основе доминирующей мотивации всю прошедшую в мозг афферентную информацию, производит непрерывное сопоставление этих результатов с прошлым опытом и, наконец, переводит результаты этой обработки на эфферентные пути, точно соответствующие распределению возбуждений для совершения нужного акта, обеспечивающего получение нужных результатов?

С постановкой этих двух вопросов мы переходим в область, абсолютно новую для нейрофизиологии и потому, естественно, совсем не разработанную. Насколько интересны те новые вопросы исследования, которые при этом возникают, показывает, например, роль доминирующей мотивации в отборе необходимой в данный момент афферентной информации на уровне коры, на ее нейронах.

Микрофизиологическое исследование нейронов вентро-медиального гипоталамуса показало, что уровень их возбудимости зависит от начального возбуждения латерального ядра гипоталамуса «голодной кровью».

Дозируя это возбуждение в натуральных условиях сроками голодания (1—4 дня), мы показали, что количество доминирующего возбуждения меняется на соответствующих синапсах корковых нейронов и в связи с этим значительно меняется интегрирующее влияние доминирующей мотивации на соотношение других синаптических возбуждений данных кортикальных нейронов. Эти исследования дают нам лишнее доказательство того, что системный подход радикально влияет на постановку вопроса каждого конкретного исследования.

Есть основание предполагать, что этот механизм сосредоточен в наиболее интегрирующих и компактных структурах головного мозга. Однако вопрос физиологической интерпретации принятия решения, возникший благодаря системному подходу к предмету, должен быть фактически разработан заново.

ФОРМИРОВАНИЕ АКЦЕПТОРА РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕЙСТВИЯ

Аппарат акцептора результатов действия — один из самых интересных в деятельности мозга и практически так же универсален и «вездесущ», как обратная афферентация и афферентный синтез. Формирование этого механизма нарушает устоявшееся представление о поступательном ходе возбуждений по центральной нервной системе согласно рефлекторному процессу. Акцептор результатов действия на основе многостороннего механизма афферентного синтеза не является выражением последовательного развития всей цепи явлений поведенческого акта. 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.

Акцептор результатов действия является весьма сложным аппаратом. По сути дела он должен сформировать какие-то тонкие нервные механизмы, которые позволяют не только прогнозировать признаки необходимого в данный момент результата, но и сличать их с параметрами реального результата, информация о которых приходит к акцептору результатов действия благодаря обратной афферентации. Именно этот аппарат дает единственную возможность организму исправить ошибку поведения или довести несовершенные поведенческие акты до совершенных. Здесь следует также подчеркнуть, что различного рода «поиски» и компенсации также могут повести к полезному результату через такого рода оценку обратной афферентации. Циркуляторное развитие этих возбуждений при «узнавании» и «поиске» может быть столь быстрым, что каждый блок этой функции, состоящей из компонентов: результат — обратная афферентация — сличение и оценка реальных результатов в акцепторе результатов действия — коррекция — новый результат и т. д., может развиваться буквально в доли секунды. Особенно быстро этот процесс протекает в условиях «сканирования» и «слежения».

Факт организации этого аппарата непосредственно после принятия решения был доказан в нашей и других лабораториях как в обычном эксперименте с условными рефлексам, так и при помощи тонких электрофизиологических приемов.

Возможно, сам момент встречи опережающего комплекса возбуждений с информацией о реально полученных результатах происходит на основе каких-то весьма тонких признаков возбуждения вообще, допускающих количественное и композиционное сличения.

Одна из интересных форм сличения в акцепторе результатов действия, хотя ее автор и не был знаком с общей архитектурой функциональной системы, была недавно представлена японским ученым Suga (1964). Он изучал получение обратного, отраженного от объекта сигнала при ультразвуковой локации у летучих мышей. Оказалось, что при посылке ультразвукового поискового сигнала в пространство в мозге летучей мыши формируется комплекс из возбужденных клеток с различными латентными периодами, периодом торможения и частотной конфигурацией. Именно эти комплексы в зависимости от фазы, в которой происходит встреча их с отраженным от объекта ультразвуковым сигналом, решают вопрос о расстоянии, на котором находится преследуемый объект.

Конечно, этот аппарат оценки результата действия сравнительно простой, но он подсказывает нам, какими возможностями и параметрами нервного возбуждения решает проблему сличения. В более сложных формах результата, например при очинке карандаша, этот аппарат, включающий несколько сенсорных компонентов, является, несомненно, более сложным. Наши последние исследования по составу акцептора результатов действия как комплекса разнородных возбуждений показали, что эти средства 'сличения могут быть очень различны.

Что может входить в состав этого аппарата? Совершенно очевидно, что существенные признаки будущего результата динамически формируются благодаря многосторонним процессам афферентного синтеза с извлечением из памяти прошлого жизненного опыта и его результата.

Некоторые последние данные заставляют, однако, думать, что в стадии

афферентного синтеза складывается несколько возможных результатов, по они не выходят на эфферентные пути и поэтому не реализуются, Решение же совершается после того, как произведен выбор наиболее адекватного результата по отношению к данной доминирующей мотивации.

Этот комплекс возбуждений — в подлинном смысле слова афферентная модель будущего результата, и именно эта модель, являясь эталоном оценки обратных афферентаций, должна направлять активность человека и животных вплоть до получения запрограммированного результата.

В последнее время были получены дополнительные сведения о том, что в этот нервный комплекс, обладающий высокой степенью мультикон-вергентного взаимодействия, приходит еще одно возбуждение, совершенно иной, не афферентной, а уже эфферентной природы. Речь идет о коллатеральных ответвлениях пирамидного тракта, отводящих ко многим межучточным нейронам «копии» тех эфферентных посылок, которые выходят на пирамидный тракт. Интересно, что эти эфферентные возбуждения конвергируют на те же межучточные нейроны сенсомоторной области, куда поступают и все те афферентные возбуждения, которые могут составить параметры реального результата.

Таким образом, момент принятия решения и начала выхода рабочих эфферентных возбуждений 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 аппаратам. В зависимости от интервала между постановкой цели и ее реализацией к этому же комплексу возбуждений через определенное время приходят возбуждения и от реальных параметров полученного результата. Самый процесс оценки полученного реального результата осуществляется из сличения прогнозированных параметров и параметров реально полученного результата. Именно здесь, в этом пункте, осуществляется таинство оценки полученного результата, которое, как мы видели на примере с летучей мышью, производится специальным динамически формирующимся аппаратом. Оценка же и ее результат определяют дальнейшее поведение организма. Если результат соответствует прогнозированному, то организм переходит к следующему этапу поведенческого континуума.

Если же результат не соответствует прогнозу, то в аппарате сличения возникает рассогласование, активирующее ориентировочно-исследовательскую реакцию, которая, поднимая ассоциативные возможности мозга на высокий уровень, тем самым помогает активному подбору дополнительной информации. Все эти процессы поведения акцептора действия достаточно хорошо изучены в нашей лаборатории.

Так, например, было показано, что в момент выхода из коры головного мозга пирамидное возбуждение отдает копию эфферентного возбуждения не только в комплексы оценки результата, т. е. в кору мозга, но и в ретикулярную формацию. Ретикулярная формация в обратном кортикоцетальном направлении имеет возможность оказать дополнительное энергетическое воздействие на те циркулярные возбуждения («круги ожидания»), которые должны удержать свою активность до момента прихода информации о получении полезного результата. Как мы знаем, в некоторых случаях комплекс акцептора результатов действия должен очень долго быть в напряженном состоянии, прежде чем будет получен реальный запрограммированный результат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большая часть раздела посвящена тем разграничительным линиям, которые отделяют общее движение за системный подход от разработанной в нашей лаборатории теории функциональной системы, имеющей и иное начало, и иной путь отработки принципиальных позиций и понятий.

В одной из своих работ Бергаланфи пишет, что идея «организменного», или «целостного», подхода родилась у него очень рано, кажется, в 1937 г., однако интеллектуальный климат того времени не был подходящим для восприятия «организменной» идеи, которую он предложил. Действительно, интеллектуальный климат того времени был воспитан на подражании законам физики и механики, и потому считалось научным только то, что могло быть переведено на принципы и понятия этих наук.

И только в 1950 г. Бергаланфи решился сделать официальные шаги в защиту своей идеи, ибо в это время, т. е. в послевоенные годы, резко изменился сам интеллектуальный климат. Весьма быстро и настоятельно проявился интерес к абстрактным формулам, моделям, синтетическим понятиям и вообще к интердисциплинарным взаимоотношениям между учеными, и только в этот период стало возможным говорить об общей теории систем.

Теория функциональной системы претерпела также немало изменений с момента ее первой формулировки, однако условия ее возникновения и самые первые шаги в ее развитии принципиально отличались от путей развития общей теории систем. Как концепция она зародилась примерно в 1932—1933 гг. и была сформулирована в достаточно развитой форме уже в 1935 г. в сборнике «Проблема центра и периферии в физиологии нервной деятельности».

Однако в первых же формулировках функциональная система как интегративное образование организма включала все те компоненты, которые характерны для нее и сейчас, в том числе и обратную, или санкционирующую, афферентацию. В отличие от общей теории систем, которая до сих пор пребывает в стадии исканий конкретных и полезных путей, теория функциональной системы в первые же годы после ее формулировки явилась для нашей лаборатории толчком к бурному развитию именно конкретной исследовательской работы, которая нашла в функциональной системе совершенно очевидный конструктивный стимул к формулировке новых задач исследования.

Эта особенность теории функциональной системы как конкретной конструктивной теории резко отличает ее от судьбы общей теории систем, которая даже к настоящему времени практически еще не имеет связи с конкретной исследовательской работой.

Достаточно указать, что уже в 1937 г. была опубликована кардинальная для наших исследований работа «Функциональная система как основа интеграции нервных процессов в эмбриогенезе». Фактически это было зарождением той эволюционной концепции, которая в 1945 г. была сформулирована как теория системогенеза.

Очень часто задают вопрос, к каким принципиальным обобщениям привели исследования, проведенные на основе теории функциональной системы. Системогенез может служить самым демонстративным примером конструктивной продуктивности теории функциональной системы как методологического инструмента, помогающего поставить новые вопросы исследования.

Системогенез приводит к существенным изменениям имевшихся представлений о путях эмбрионального развития. Это стало возможным только потому, что теория функциональной системы оказалась конструктивным принципом, подсказывающим положительно в каждой области новый подход, новые трактовки и новые формы экспериментирования. Мы не можем здесь перечислять все те направления исследований в различных областях биологии и физиологии, которые получили совершенно новое освещение при использовании теории функциональной системы как рабочего принципа в повседневном исследовании.

[Казалось бы, общая теория систем в соответствии с ее весьма радикальными и даже эволюционными стремлениями в борьбе с механистическим аналитизмом должна была бы вызвать немедленное преобразование самой логики научного исследования и, несомненно, приобрести всеобщую симпатию реально мыслящих ученых. Однако этого не произошло.

Почему же этого не случилось?

В этом разделе мы попытались выявить причины этого парадоксального явления. Нам кажется, ясным, что имеются две причины того ничтожного результата, который был получен при обсуждении «общей теории систем».

Первая состоит в том, что авторы ее пошли по неправильному пути как в поисках понятия системы, так и в общей тактике ее разработки.

Как можно было видеть, при всякой попытке сформулировать само понятие системы, т. е. дать принципиальное кредо этому новому интересному направлению, положительно все исследователи попадают в заколдованный круг традиционных понятий. Здесь непрерывно цитируются «целостность», «организованность», «взаимодействие», «организованная сложность», «упорядоченное множество» и другие подобные термины, которые становятся даже центральными критериями понятия системы. Ясно, что все эти термины по самой своей сути являются лишь вариациями понятия целостности. Именно поэтому, не выходя за пределы понятийного поля целостности, все эти определения не дают какого-либо существенного скачка как в понимании системы, так и в конкретной разработке ее.

Между тем главный смысл системного подхода состоит именно в том, что любая деталь наблюдения или экспериментирования должна быть неизбежно вписана в какой-то из узловых механизмов внутренней архитектоники системы. Практически никакая новая научная тема не могла бы быть сформулирована вне конкретной внутренней архитектоники системы, где эта тема только и может получить широкий познавательный смысл. Точно так же и трактовка полученных результатов даст наибольший эффект, если она будет построена на основе системных механизмов.

Вторая причина состоит в том, что интеллектуальный климат для принятия системного воззрения действительно изменился. Однако подавляющее большинство ученых с большим трудом отказываются от устоявшихся традиций рассматривать все научное накопление в аналитическом аспекте. Такой переход — не простая перемена названий и выражений, как поначалу думали некоторые исследователи; он требует радикального изменения самих принципов подхода к элементарным процессам и общей тактике исследования.

Действительно, для исследователя, имеющего в руках теорию функциональной системы как методологический инструмент экспериментирования, не может быть «возбуждения вообще», «афферентации вообще», «мотивации вообще» и даже «памяти»

вообще». Конструктивная роль этих привычных понятий выявляется благодаря их положению в том или ином качественно своеобразном механизме внутренней архитектоники функциональной системы.

Возьмем для примера зрительную афферентацию. Она обычно определяется как сенсорная модальность, и с точки зрения этой аналитической характеристики специфической чертой этой афферентации будет именно ее оптический характер. Но так ли обстоит дело, если оценивать зрительную афферентацию по ее месту в архитектонике функциональной системы?

Зрительная афферентация может быть «пусковой афферентацией», как это, например, наблюдается в случае условного зрительного стимула. Но та же зрительная афферентация в других условиях может составлять и обстановочную афферентацию, определяющую совсем другой механизм системы — предпусковую интеграцию нервных процессов.

И даже больше того, зрительная афферентация может иметь еще третью и совершенно иную функциональную значимость: она может участвовать в оценке полученного системой результата. Таким образом, сформулировав внутреннюю операциональную архитектуру системы, мы тем самым изменили подход к привычным для нас физиологическим понятиям и процессам.

Еще более заметной становится роль функциональной системы, когда надо, так сказать, «анатомировать» какое-то сложное явление в работе мозга животных или человека. Так, например, оценка изменения психической деятельности человека после операции на мозге производится обычно при помощи стандартных тестов, а в последние годы — при помощи оценки различных электрофизиологических показателей в работе мозга (ЭЭГ, вызванного потенциала, активности нейронов).

Функциональная система вносит определенный порядок и логическую последовательность в эту оценку. Можно задать вопрос, изменился ли афферентный синтез у данного больного при выработке определенного решения. Если он изменился, то больной не может принять адекватного решения. Тогда сейчас же возникает следующий вопрос: какой из компонентов и какой из нейродинамических процессов, определяющих успех афферентного синтеза, является нарушенным. Но мы знаем, что может оказаться ненарушенным ни один из компонентов афферентного синтеза и больной принимает вполне адекватное решение и выполняет соответствующее движение. Однако у этих больных может быть нарушен очень важный завершающий механизм системы: оценка результатов действия в акцепторе результатов действия. В этом случае мы видим, что, правильно выполняя инструкцию, больной не может остановиться на правильно выполненном результате и продолжает его «выполнять» повторно. Физиологически это значит, что больной не может оборвать действие при правильно полученном результате только потому, что аппарат сличения и, следовательно, торможения дальнейшего повторения оказывается неполноценным (систематические исследования А. Р. Лурия).

Можно назвать многие другие области научного знания, которые получили с применением теории функциональной системы иное и более конструктивное решение, чем при обычном подходе. Так, например, в корне изменилась расшифровка компенсаторного процесса при восстановлении нарушенных функций, более глубоко понят генез гипертонических состояний вообще и, в частности, гипертонической болезни, изменилась расшифровка понятий заболевания и выздоровления и т. д.

Практически все формы нарушений и нормальные функции организма значительно более легко расшифровываются с тонки зрения теории функциональной системы, чем при обычном подходе. И здесь, конечно, на первом плане стоит расшифровка самого поведения животного и человека. Каждый поведенческий акт, приносящий какой-то результат, большой или малый, неизбежно формируется по принципу функциональной системы.

И, наконец, решительно изменилось понимание онтогенетического развития функций и механизмов отбора на протяжении филогенеза животных.

Приведенные выше примеры являются далеко не единственными, и заметный практический успех во всех этих случаях делает особенно необходимой глубокую и всестороннюю разработку теоретических основ функциональной системы.

Обратимся к вопросу о развитии системного подхода в Советском Союзе. Нам кажется, что попытки популяризировать системный подход как новую форму трактовки и вообще подхода к научным фактам весьма полезны. Мы должны вооружить нашу научно-исследовательскую молодежь этим методом и дать ей возможность работать в ускоренном темпе, с более рациональным исходом. Однако надо отметить, что публикации последнего года, относящиеся к этой проблеме, весьма мало сдвигают проблему системного подхода именно в сторону конструктивных методов исследования. Виной этому, как мы уже отмечали, излишнее теоретизирование конкретных биологических, машинных или общественных систем.

Общая теория систем может быть интересна исследователям в области конкретных наук только в одном плане, именно в обогащении приемов и подходов к конкретному научному исследованию. В познавательном же отношении максимальный интерес и максимальное внимание должны заслужить те концепции, гипотезы и теории, которые показали совершенно очевидный конструктивный эффект в конкретном научном исследовании.

Можно только вкратце отметить важнейшие обобщения, которые нами были разработаны с помощью общей теории функциональных систем, обобщения, которые не могли быть получены иначе. Прежде всего это — концепция системогенеза, которая сейчас помогла понять основной закон эмбрионального созревания функций, обеспечивающих выживание новорожденного (П. К. Анохин, 1937, 1948, 1964, 1968).

Концепция системогенеза по своей сути вступает в противоречие с общепринятым понятием органогенеза и дает реальное объяснение многому, что не находило до этого достаточно четкой расшифровки. Многочисленные работы наших сотрудников, начиная с 1932 г., охватывают эмбриогенез животных самых разнообразных видов, включая и изучение живых плодов (рыб, амфибий, птиц, млекопитающих, человека) (Я. А. Милягин, К. В. Шулейкина, Е. Л. Голубева и др.).

Особенно интересно подчеркнуть, что приложение новой концепции — системогенеза — к онтогенетическому развитию животных разных видов дало возможность по-новому подойти к некоторым нерешенным проблемам теории естественного отбора и «биогенетического закона» Мюллера-Геккеля (Ф. А. Ата-Мурадова, 1970).

Эта широкая перспектива приложения системогенеза к раскрытию некоторых сторон фундаментальных проблем биологии сделала эту концепцию одним из отправных пунктов для построения теоретической биологии (П. К. Анохин, 1970).

стадии созревания плода, когда отдельные фрагменты функциональной системы (мышцы, нервные центры, кости и др.) закладываются отдельно и развиваются, так сказать, навстречу друг другу до момента их функциональной консолидации. Последняя обычно происходит за несколько дней или недель до рождения, и к моменту рождения система готова функционировать и обеспечить новорожденному выживание.

Рано или поздно должен возникнуть вопрос о том, какие факторы в раннем эмбриогенезе направляют возникновение и развитие так гармонически сочетающихся впоследствии компонентов системы. Этот вопрос подвел нас вплотную к закономерностям общей генетики, ибо только она может помочь решить кардинальный вопрос развития: как закодированы функциональные системы в геномных организациях и какой фактор в дальнейшем дирижирует таким синхронным объединением всех компонентов функциональной системы (гетерохрония в закладках компонентов и синхронность в консолидации к моменту рождения).

Для решения этих вопросов в настоящее время мы вступили в рабочий контакт с Институтом общей генетики АН СССР и надеемся, что новый вопрос о генетике конкретных функциональных систем организма будет в какой-то степени освещен.

Другим значительным обобщением, вытекающим из физиологической архитектоники функциональной системы, является формулировка интегративной деятельности нейрона, построенная на совершенно иных основаниях, чем это принято в современной нейрофизиологии.

Эта новая концепция возникла как следствие тонкого анализа механизмов афферентного синтеза, являющегося аванпостным узловым механизмом в развертывании функциональной системы.

В самом деле, суть афферентного синтеза состоит в том, что процессы возбуждения различного функционального смысла и различного пространственного рецепторного происхождения должны быть неминуемо обработаны совместно и часто одновременно.

Возникает критический вопрос, где может быть организована эта «встреча» возбуждений, составляющих афферентный синтез функциональной системы.

Ответ может быть только один: такая встреча может произойти на одном и том же нейроне, сколько бы ни было переключений и обогащений этих возбуждений на пути к коре головного мозга. Отсюда возникла целая серия работ, которая привела вначале к формулировке идеи о гетерохимическом характере субсинаптических образований и новой концепции — представление об интегративной деятельности нейрона (П. К. Анохин, 1974).

Сейчас можно лишь перечислить те новые направления, которые возникли у нас в лаборатории и которые, как правило, повели мысль по новому пути.

Совсем другой аспект возник в объяснении природы вызванного потенциала, и, что особенно важно, он перестал быть только электрическим феноменом с изменяемыми «параметрами»: амплитудой, частотой, длительностью латентного периода и др. Благодаря системному подходу вызванный потенциал стал инструментом нейрофизиологического анализа субкортикальных взаимодействий, а вместе с тем дал возможность сделать оценку восходящих возбуждений этих подкорковых образований (Ф. А. Ата-Мурадова).

Можно назвать области физиологии, которые получили от общей теории

функциональных систем новое направление и в объяснении и в разработке. Сюда относятся компенсация нарушенных функций, гипертоническая болезнь, эмоциональные стрессы и т. д.

Если к этому прибавить использование теории функциональных систем педагогами, медиками, музыкантами и многими другими специалистами, то можно достаточно уверенно утверждать, что в общей теории функциональных систем были найдены универсальные черты функционирования, изоморфные для огромного количества объектов, относящихся к различным классам явлений.

Это обстоятельство полностью удовлетворяет тем требованиям, которые мы предъявили в самом начале этой статьи к теории систем вообще и общей теории функциональных систем в частности.

ЛИТЕРАТУРА

- Акоф Р. Л.* Системы, организации и междисциплинарные исследования. — В кн.: Исследования по общей теории систем. М., 1969, с. 143—144.
- Анохин П. К.* Проблема центра и периферии в современной физиологии нервной деятельности. — В кн.: Проблема центра и периферии в нервной деятельности. Горький, 1935, с. 9—70.
- Анохин П. К.* Системогенез как общая закономерность эволюционного процесса. — «Бюлл. exper. биол.», 1948, т. 26, вып. 2, № 8, с. 81—99.
- Анохин П. К.* О физиологическом субстрате сигнальных реакций. — «Журн. высш. Нерв. деят.», 1957, 7, № 1, с. 39—48.
- Анохин П. К.* Методологическое значение кибернетических закономерностей. — В кн.: Материалистическая диалектика и методы естественных наук. М., 1968, с. 547—587.
- Анохин П. К.* Функциональная система, как методологический принцип биологического и физиологического наследования. — В кн.: Системная организация физиологических функций. М., 1968, с. 5—7.
- Анохин П. К.* Теория функциональной системы. — «Успехи физиол. наук», 1970, т. 1, № 1, с. 19—54.
- Анохин П. К.* Системный анализ интегративной деятельности нейрона. — «Успехи физиол. наук», 1974, т. 5, № 2, с. 5—92.
- Анохин П. К., Стреж Е.* Изучение динамики высшей нервной деятельности. 6. Характеристика рецептивной функции коры больших полушарий в момент действия безусловного раздражителя. — «Физиол. журн. СССР», 1934, т. 17, № 5, с. 1225—1237.
- Ата-Мурадова Ф. А.* Анализ вызванных ответов коры мозга с помощью локального теплового блока ее поверхностных слоев. — «Физиол. журн. СССР», 1966, т. 52, № 6, с. 696—708.
- Ата-Мурадова Ф. А.* Гетерохронное созревание отрицательных компонентов вызванного потенциала зрительной коры в онтогенезе кролика. — В кн.: Электрофизиологические исследования центральной нервной системы позвоночных. Л., 1970, с. 85—92.
- Афанасьев В. Г.* Управление обществом как социологическая проблема. — В кн.: Научное управление обществом. Вып. 2. М., 1968, с. 183—224.
- Гвишиани Д. М., Микулинский С. Р., Ярошевский М. Г.* Социальные и психологические аспекты изучения деятельности ученого. — «Вопр. философии», 1971, № 3, с. 83—92.
- Глушков В. М.* Информация по кибернетике (Институт кибернетики Украинск. ГСР). Киев, 1970.
- Гудвин Б.* Временная организация клетки. М., «Мир», 1966, 251 с.
- Дубинин Н. П.* Общая генетика. М., «Наука», 1970, 487 с.
- Журавлев В. В.* Особенности реакций нейронов гипоталамуса у голодных кроликов на пищевое подкрепление. — «Тр. Ин-та норм. и пат. физиол. АМН СССР», 1969, т. 12, с. 194—196.
- Зачиняева И. А.* Выработка динамического стереотипа на двигательных условных реакциях. — В кн.: Проблемы высшей нервной деятельности. М., Изд-во АМН. 1949, с. 521—539.
- Кузнецов Б. Г.* Этюды об Эйнштейне. М., «Наука», 1970.
- Кухтин В. С.* Системно-структурный подход и специфика философского знания. — «Вопр. философии», 1968, № 11, с. 47—58.

- Лобные доли и регуляция психических процессов. Нейропсихологические исследования.* М., Изд-во МГУ, 1966, 740 с.
- Макаров В. А.* Роль миндалевидного комплекса в механизме конвергенции возбуждений различной сенсорной модальности на нейронах коры больших полушарий. — «Докл. АН СССР», 1970, т. 194, № 6, с. 1454—1457.
- Месарович М. Д.* Теория систем и биология: точка зрения теоретика. — В кн.: Системные исследования. М., 1970, с. 137—163.
- Павлов И. П.* Рефлекс цели. — В кн.: И. П. Павлов. Полное собрание трудов. Т. 3. М.-Л., 1949, с. 242—347.
- Павлов И. П.* Динамическая стереотипия высшего отдела головного мозга. — В кн.: И. П. Павлов. Полное собрание трудов. Т. 3. М.—Л., 1949, с. 496—499.
- Полянцев В. А.* Методика самоуправляемого искусственного дыхания. — «Пат. физиол. и эксперим. терапия», 1961, т. 5, № 4, с. 77—79.
- Правдивцев В. А.* Эфферентно-афферентная конвергенция на нейронах зрительной коры. — В кн.: «Интегративная деятельность мозга». М., 1967, с. 67—69.
- Ратпопорт А.* Математические аспекты абстрактного анализа систем. М., «Прогресс», 1969, с. 83—105.
- Садовский В. Н., Юдин Э. Г.* Задачи, методы и приложения общей теории систем (Вступ. статья). — В кн.: Исследования по общей теории систем. М., 1969, с. 3—22.
- Синичкин В. В.* Особенности распространения возбуждения, вызванного антидромным раздражением пирамидного тракта на нейроны зрительной области коры головного мозга. — В кн.: Интегративная деятельность мозга. М., 1967, с. 72—74.
- Системные исследования.* Ежегодник (Институт истории естествознания и техники АН СССР). М., «Наука», 1970, 208 с.
- Судаков К. В.* Нейрофизиологические механизмы пищевого возбуждения. Докт. дисс. М., 1965, 488 с.
- Судаков К. В.* Пейсмекерный механизм пищевой мотивации. — Рефераты докл. 11-го Всесоюз. съезда физиологов. Т. 1. Л., 1970, с. 187—492.
- Судаков К. В., Котов А. В.* Взаимодействие мотивационного и подкрепляющего возбуждений на нейронах коры мозга как основа пищевого условного рефлекса. — Материалы симпозиумов 22-го совещания по проблемам физиол. высшей нервной деятельности. Л., 1969, с. 20—21.
- Судаков К. В., Фадеев Ю. А.* Особенности восходящей активности коры головного мозга в состоянии физиологического голода и при болевом раздражении. — «Физиол. журн. СССР», 1963, т. 49, № II, с. 1310—1317.
- Трапезников В. А.* Человек в системе управления. — Тезисы 5-го Всесоюз. совещания по проблемам управления. М., 1971.
- Урсул А. Д.* Природа информации. М., Политиздат, 1968, 288 с.
- Ухтомский А. А.* Собр. соч. Т. 2. Л., Изд-во АН СССР, 1951, 180 с.
- Хаяутин С. Н.* Активность одиночных нейронов зрительной области коры в условиях (выраженной пищевой мотивации). — В кн.: Структурная, функциональная и нейрохимическая организация эмоций. Л., 1971, с. 175—179.
- Шумилина А. И.* Функциональное значение лобных областей коры головного мозга в условнорефлекторной деятельности собаки. — В кн.: Проблемы высшей нервной деятельности. М., 1949, с. 561—627.
- Шумилина А. И.* Экспериментальный анализ методом вызванных потенциалов корково-подкорковой реверберации возбуждений. — В кн.: Интегративная деятельность нервной системы в норме и патологии. М., 1968, с. 276—287.
- Эйнштейн А.* Физика и реальность. М., «Наука», 1965, 359 с.
- Функциональная система как основа интеграции нервных процессов в эмбриогенезе.* — «Сборник докл. 6-го Всесоюзного съезда физиологов, биохимиков и фармакологов». Тбилиси, 1937, с. 148—156. Авт.: П. К. Анохин, А. И. Шумилина, Я. А. Милягин, Е. Л. Гонубева и др.
- (Ashby W. R.) Эшби У. Р.* Конструкция мозга. Пер. с англ. М., «Мир», 1964, 411 с.
- (Ashby W. R.) Эшби У. Р.* Общая теория систем как новая научная дисциплина. — В кн.: Исследования по общей теории систем. М., 1969, с. 125—142.
- (Bertalanffy L.) Берталанфи Л.* Общая теория систем — критический обзор. — В кн.: Исследования по общей теории систем. М., 1969, с. 23—24.
- Brass J. D.* Design for decision. New York, 1953.
- Bullock T. H.* Parameters of integrative action of the nervous system at the neuronal level. — In: The submicroscopic organization and function of nervous cells 1958, p. 323.
- Калман Р., Фалб П., Арбиб М.* Очерки по математической теории систем. Пер. с англ. М., «Мир», 1971, 400 с.
- Ханике Ф.* Новые идеи в области управления. Пер. с англ. М., «Прогресс», 1969, 125с.

- Полл А. Д., Фейджин Р. Е. Определение понятий Системы. — В кн.: Исследования общей теории систем. М., 1969, с. 252—282.
- Юнг Р. Ярче тысячи солнц. Пер. с англ. М., «Атомиздат», 1960, 280 с. (*Lange O.*) Ланге О. Целое и развитие в свете кибернетики. — В кн.: Исследования по общей теории систем. М., 1969, с. 181—251.
- Marling D. C. La experimentation instrumental a la luz de conception de Aпоjin.
«Bol. Inst. neurofisiol. psycol.», 1966, v. 2, p. 14. Милсум Дж. Анализ биологических систем управления. Пер. с англ. М., «Мир», 1968, 501 с.
- Паек Г. Естественная теория цепей. — В кн.: Саморегулирующая система. М., 1964, с. 318—357.
- Suga N. Recovery cycles and responses to frequency modulated tone pulses in auditory neurones of echo-locating bats. — «J. Physiol.», 1964, v. 175, p. 50—80.
- (Waddington C. H.) Уоддингтон К. — В кн.: Б. Гудвин. Временная организация клетки. М., 1966. Предисловие.
- (Weiss P.) Венце П. Динамика клетки. — В кн.: Современные проблемы биофизики. Т. 1. М., 1961, с. 21—34.