

Российская академия естественных наук
Отделение психофизиологии

Академия медико-технических наук
Российской Федерации

Л.В. Бобровников

НЕЙРОСИНЕРГЕТИКА ЖИВОГО ДВИЖЕНИЯ

Москва 2013

БК 28.91

**Л.В.Бобровников. Нейросинергетика живого движения –
М.: Российская академия естественных наук, 2013. – 145 с.**

Одним из несомненных достоинств современных компьютеров является потенциальная возможность их использования в качестве систем управления различными силовыми установками, такими как гидроэлектростанции, атомные ледоколы, самолеты, и т. п. Они это уже делают и делают очень неплохо. Но вот способны ли компьютеры столь же эффективно управлять техническими устройствами, структурно-функциональная организация которых подобна организации конечностей человека и животных?

Сегодня на этот вопрос можно уверенно дать отрицательный ответ. И причина - не слабость информационных мощностей современных ЭВМ. Связано это с особенностями нормальной физиологии самих исполнительных органов – органов реализации «живого движения», которое является принципиально неуправляемым не только компьютерами, но и вообще любыми другими системами, ориентированными на командные методы взаимодействия с двигательной периферией.

В книге рассматривается ряд новых, разработанных в последние годы биотехнических подходов, открывающих возможность практического решения подобных задач.

ISBN 978-5-91506-051-6

© Л.В.Бобровников, 2013

©Российская академия естественных наук

©Академия медико-технических наук РФ

Часть I

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОМЕХАНИКИ
ЖИВОГО ДВИЖЕНИЯ**

Введение

В практике современной неврологии до сих пор ещё широко применяется один очень простой, но весьма эффективный диагностический тест, который позволяет безошибочно выявлять наличие у человека скрытых нарушений мозговой деятельности. Суть теста сводится к тому, что пациенту предлагают с закрытыми глазами прикоснуться указательным пальцем к кончику своего носа (рис.1).

Внешне задача эта выглядит крайне примитивно. Однако, в действительности, правильное её решение под силу только обладателям нормально функционирующей центральной нервной системы. Ни на каком другом нейрофизиологическом субстрате или, тем более, его биотехни-

ческом аналоге сделать это в принципе не возможно. В том числе, нельзя построить робота-андроида, который был бы способен воспроизводить подобные действия вместо человека.

Это один из тех немногих случаев, когда даже самая умная, самая совершенная машина демонстрирует свою полную несостоятельность. Вот в шахматы современные кибернетические устройства могут играть не хуже людей и самолетами управлять, выполняя функцию автопилота, тоже. А обеспечить решение

элементарной задачи «рука-палец-нос» (**finger-nose test**) - не могут! Более того, складывается впечатление, что в обозримом будущем надеяться на создание технических сис-



Рис.1

тем, способных имитировать подобные формы двигательной активности, также не приходится.

Экспериментальные данные, указывающие на обоснованность приведенного выше утверждения, были получены ещё в начале 1930-х годов, когда ни о каких персональных ЭВМ, сканерах, модемах никто не смел даже мечтать. Однако это не помешало сделать тогда целый ряд очень точных выводов, сохраняющих свою актуальность и в наши дни. Главным из них, несомненно, является парадоксальное, на первый взгляд, заключение о принципиальной невозможности построения целенаправленных форм двигательной активности на основе программного принципа её детерминации [Бернштейн Н.А., 1930,1935].

ПРОБЛЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРИНЦИПИАЛЬНО НЕУПРАВЛЯЕМЫМИ ОРГАНАМИ

Практически до середины прошлого века в нейрофизиологии общепринятой оставалась следующая точка зрения по вопросу о нейронных механизмах поведения. Считалось, что в процессе выработки любого двигательного навыка в определенных центрах мозга фиксируется соответствующая программа действия. Активируется она специальным пусковым стимулом, в результате чего в мышцы начинают идти моторные командные импульсы, которые инициируют программно-детерминированную поведенческую активность. Нетрудно заметить полное соответствие последовательности описанных событий схеме развёртывания классической рефлекторной дуги: стимул → процесс его информационной обработки → актуализация эффекторной программы → двигательная реакция.

Строго говоря, организованные по такому принципу движения действительно присутствуют в поведенческом репертуаре всех живых существ. У человека это хорошо знакомые каждому рефлексы (мигательный, рвотный, оборонительный, коленный и т. п.).

Но, как показал проведённый Н.А.Бернштейном ана-

лиз, сложные двигательные акты, которые призваны решать ту или иную задачу, направленную на достижение конкретного результата, строиться по такой схеме не могут. Дело в том, что результат любого сложного движения зависит не только от идущих на периферию эффекторных команд, но и от ряда дополнительных факторов, не входящих в состав системы центральных, управляющих сокращением мышц сигналов. Все эти факторы неизбежно вносят отклонения в программно-детерминированный ход движения, сами же при этом не поддаются предварительному учёту. Как следствие, решение планируемой поведенческой задачи может быть достигнуто только в том случае, если во время реализации действия в него будут постоянно вноситься экстренные поправки, компенсирующие влияние этих неконтролируемых переменных. Поэтому, даже полностью автоматизированные формы циклического поведения характеризуются неизбежной вариативностью центрально-периферических механизмов, обеспечивающих их развёртывание.

Факторы, нарушающие целенаправленную двигательную активность, по классификации Н.А.Бернштейна условно можно разделить на четыре основные группы.

Прежде всего, это так называемые **инерционные силы**. Любые исполнительные органы человека и животных обладают неравномерно распределённой по их длине массой. И, в соответствии с известными законами механики, движение таких систем всегда содержит в себе сложно организованную инерционную составляющую. Причём, в отличие от бильярдного шара, который после удара по нему продолжает в силу инерции двигаться по более-менее ожидаемой траектории, инерционное движение руки или ноги человека абсолютно непредсказуемо.

Влияние подобных сил особенно велико при работе с использованием тяжёлых орудий труда, таких как кувалда, отбойный молоток и т. п. Но они, естественно, проявляются и без дополнительной нагрузки на исполнительный

орган.

Другим программно-неконтролируемым фактором детерминации двигательной активности являются **реактивные силы**. Присутствие их особенно заметно, когда под ногами находится скользкая или даже просто не очень твёрдая поверхность. Например, после сильного удара ногой по мячу на мокрой траве человек рискует упасть, хотя, конечно, это падение никак не запланировано в его моторных центрах. Причиной потери равновесия и падения в данном случае становятся как раз те самые реактивные силы (силы «отдачи»), которые непредсказуемо возникают в различных звеньях кинематических цепей при любом (особенно резком) их движении.

Ещё одним фактором неизбежного возникновения незапланированных «сбоев» в ходе реализации программы любого действия выступают **внешние силы**. Практически каждое реальное движение рано или поздно сталкивается с возникновением сил сопротивления со стороны различных объектов окружающей среды. Причем, величина силы такого сопротивления, как правило, всегда неопределённа. Яркий пример тому – процесс скашивания травы в поле. Понятно, что заранее отразить в программе каждого очередного движения рук и ног непрерывно меняющиеся физические свойства срезаемого косой субстрата в принципе невозможно. То же самое имеет место при работе с рубанком, топором, пилой, лопатой и т. п. Во всех этих и многих других случаях нельзя заложить в центральные моторные программы учёт влияния поля постоянно меняющихся внешних сил.

Наконец, последний непредсказуемо изменчивый фактор - **исходное состояние мышцы**. Особенность работы любого мышечного волокна заключается в том, что его способность реагировать сокращением на повторяющийся стандартный сигнал меняется по ходу движения вместе с изменением длины мышцы или же в результате её утомления. По этой причине один и тот же комплекс управляющих

нервных импульсов может дать совершенно разный моторный эффект, запрограммировать который в рамках системы центральных команд в принципе невозможно.

Перечисленные выше четыре ряда факторов вносят неизбежные отклонения в запланированный ход движения, сами же при этом не поддаются предварительному учёту. Отсюда и проистекает та самая, до сих пор ещё не решённая проблема современной биомеханики – проблема принципиальной неуправляемости исполнительных органов.

В качестве её иллюстрации можно привести следующий пример. На рис.2 представлена схема, которую П.К.Анохин использовал в одной из своих последних работ для объяснения с позиций общей теории функциональных систем механизмов формирования целенаправленных поведенческих актов.

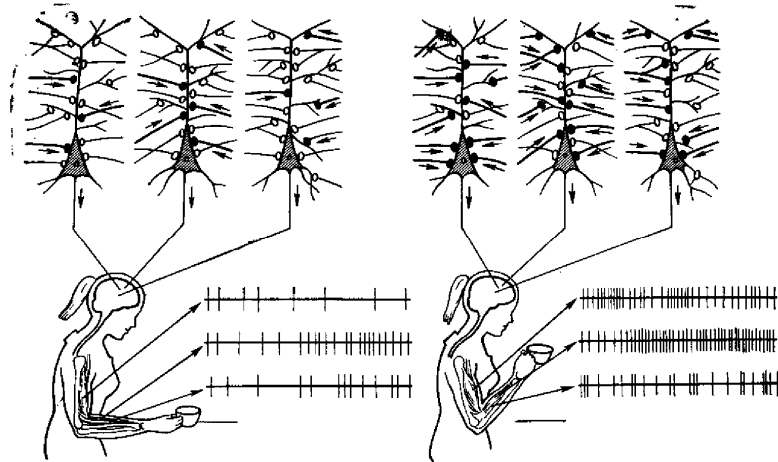


Рис.2. «Схема, поясняющая смену степеней свободы нейрона и мышцы в процессе осуществления целенаправленного действия. В зависимости от фазы движения, происходит перемена степени свободы на пирамидных нейронах коры, отражающаяся в возбуждении мышечных групп» [Анохин П.К.Очерки по физиологии функциональных систем. 1975. С.432].

Приведённый выше рисунок, на мой взгляд, не требует каких-то специальных комментариев.

А теперь предположим, что в нашем распоряжении есть магнитофон с огромным числом каналов, на которые можно записать последовательность всех эфферентных сигналов, идущих от мотонейронов к мышечным волокнам в ходе реализации данного целенаправленного действия (рис.3). Что произойдет, если сделанную на такой супермагнитофон запись использовать затем для электростимуляции тех же самых мышц? Будет ли в этом случае наблюдаться возникновение точно такой же последовательности целенаправленных действий, как и на рис.2?

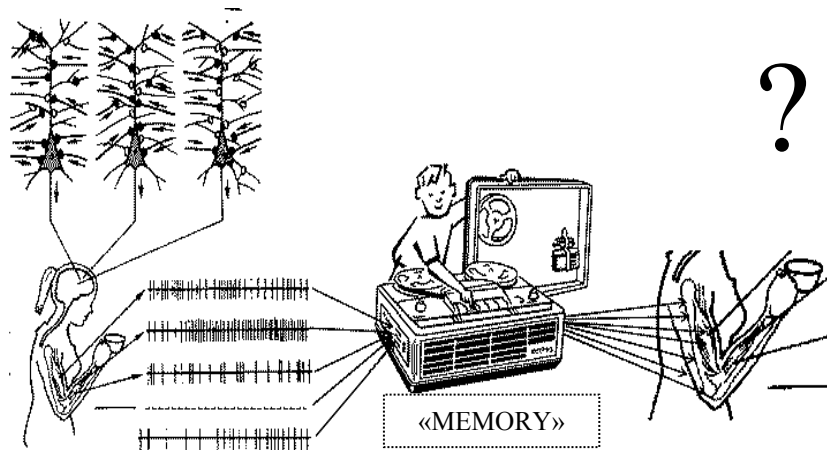


Рис.3. Если бы можно было записать на многоканальный магнитофон всю совокупность командных сигналов, идущих от нейронов к мышечным волокнам во время реализации эффективного целенаправленного действия, то повторное воспроизведение такого эфферентного комплекса не привело бы к возникновению координированной двигательной активности.

Учитывая результаты проведенного Н.А. Бернштейном анализа, на поставленный вопрос приходится дать отрицательный ответ. Действительно, влияние рассмотренных выше четырёх факторов неизбежно приведет к полной дискоординации поведения, выполняемого под управлением записанной на магнитофон программы эфферентных импульсов. Вместо целенаправленной двигательной активности на выходе такой биотехнической системы мы получим лишь набор хаотических неупорядоченных движений (синкинезий). То же самое пришлось бы наблюдать и при аналогичной попытке программной реализации диагностического теста «finger-nose test» (рис.1).

Понятно, что этот вывод не опровергает самого факта существования целенаправленных действий. Ими буквально насыщен весь мир живой Природы. Но вот как именно они возникают, по-прежнему остаётся не ясным.

Один из первых вариантов ответа на этот вопрос основывался на идее “рефлекторного кольца” (рис.4), в котором афферентная сигнализация об отклонении от запланированной траектории непосредственно запускает систему соответствующих команд исправления [Бернштейн Н.А., 1949].

Однако проведённое затем критическое рассмотрение этой схемы показало, что она несёт в себе явное противоречие. Действительно, ведь, если морфологические особенности исполнительных органов млекопитающих исключают возможность управления этими органами на основе командного принципа, то и корректирующая афферентация по этой же причине сама по себе не может обеспечивать воспроизводимые двигательно-корректирующие эффекты. Генерируемые ею поправки всегда будут столь же вариативны и непредсказуемы, как и последствия влияния системы стабильных эффлекторных команд.

Поэтому в дальнейшем Н.А.Бернштейн был вынужден внести ряд существенных дополнений в исходную схему. Это нашло своё выражение в гипотезе существования

особого аппарата под названием “модель потребного будущего” – аппарата, обеспечивающего трансформацию обратной афферентации в систему непрерывно корректируемых эффекторных сигналов.

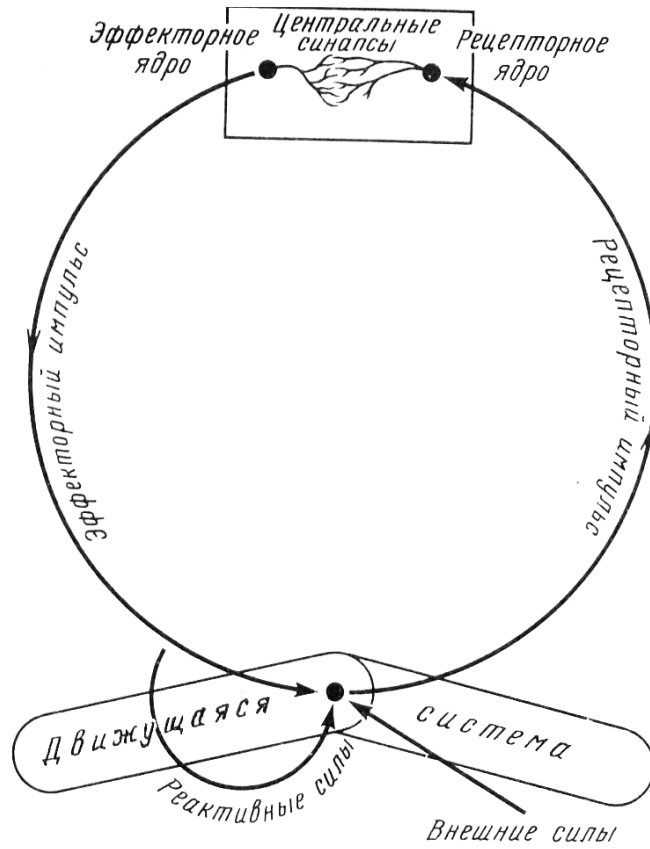


Рис.4. Самая первая из предложенных Н.А.Бернштейном схем: «схема проприоцептивного рефлекторного кольца» [Бернштейн Н., 1949. С.29]

Возможный вариант реализации новой схемы, которая, впрочем, не раскрывает сути того, что именно является собой этот гипотетический механизм, приведён на рис.5.

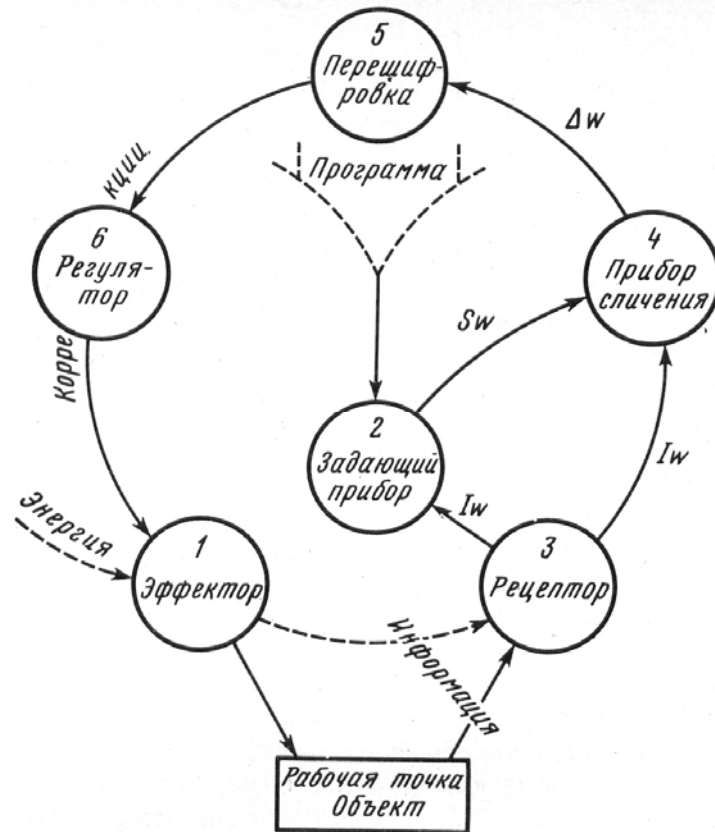


Рис.5. «Простейшая блок-схема аппарата управления движениями» [Бернштейн Н.А., 1966. С.237]. В отличие от исходной модели рефлекторного кольца, здесь уже делается попытка отразить факт наличия какого-то специального механизма перекодировки обратной афференции в систему исправленных эффекторных команд.

Действительно, с одной стороны, выступая в качестве инструмента управления двигательным актом как единым функциональным образованием, направленным на достижение конечного результата, «модель потребного будущего» вроде бы обязана играть роль некой конститутивной составляющей действия, пребывая в состоянии своей стабильной актуализации на всем его протяжении. С другой стороны, ей должен быть присущ и высокий уровень динамичности **марковского типа**, ибо она компенсирует и «впитывает в себя» множество непредсказуемо возникающих отклонений в ходе реализации управляемого ею движения. Помимо этого есть еще целый ряд других очень серьезных вопросов, которые заставляют многих авторов скептически относиться к предложенной Н.А.Бернштейном схеме [см. об этом у Лехтман Я.Б., Шустин Н.А., 1979].

В частности, при рассмотрении блока сравнения паттернов эфферентных и афферентных сигналов (рис.5) с позиций биологической кибернетики *«возникают вопросы, далеко не очевидные для теории автоматического регулирования: 1) по какому критерию производится сравнение этих двух паттернов? 2) что представляет собой результат сравнения, особенно в случае полной идентичности паттернов, когда система точно отслеживает заданную функцию и сигнал рассогласования на выходе «прибора сличения» становится равным нулю? 3) в каком отношении находятся элементы паттерна сигналов задающей функции к элементам паттерна сигналов обратной связи? Без ответа на эти вопросы любая модель двигательного акта будет похожа на интригующую сказку о движении, а не на работоспособный его механизм»* [Назаров А.И., 1997].

Впрочем, перечисленный ряд вопросов можно адресовать любой из известных сегодня биок cyberнетических концепций. *«Может быть, по этой причине, - пишет далее автор - **все** пояныне предложенные теоретические модели регуляции движения выглядят фантастично, в*

то время как движения, демонстрируемые роботами, — комично. И тем, и другим недостает механизмов автоматического регулирования, работающих в условиях неопределенных и изменчивых связей [Назаров А.И., 1997, там же: выделено мной, Л.Б.].

Настойчивые попытки найти ответ на этот ряд непростых вопросов активно предпринимались в рамках многих научных направлений. Создателем одного из них был выдающийся советский физиолог Пётр Кузьмич Анохин. Разработанная им теория функциональных систем по праву занимает одно из центральных мест среди современных физиологических концепций. После нескольких десятилетий сложного периода её становления, П.К.Анохину удалось сформулировать ключевые положения принципиально нового подхода к решению «неразрешимой» проблемы построения целенаправленных действий.

СИСТЕМНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

На основании известных сегодня фактов можно достаточно уверенно утверждать, что отправной точкой разработки концепции П.К.Анохина послужил именно тот самый круг проблем, который был сформулирован Бернштейном в начале 1930-х годов (рис.6). Однако методология проводимых П.К.Анохиным исследований, а также интерпретация экспериментальных данных уже изначально кардинальным образом отличались от того, что делалось в других научных лабораториях у нас стране и за рубежом. А именно, основной акцент в экспериментах П.К.Анохина был сделан на анализе гетерогенных анастомозов. Т.е. изучались последствия искусственного соединения хирургическим путем определённого нервного центра с не свойственным ему периферическим органом. Например, центральный отрезок блуждающего нерва пришивался к периферическому отрезку одного из нервов передней конечности (n.n.radialis, medianus, subscapularis) [Анохин П.К., 1935 а].

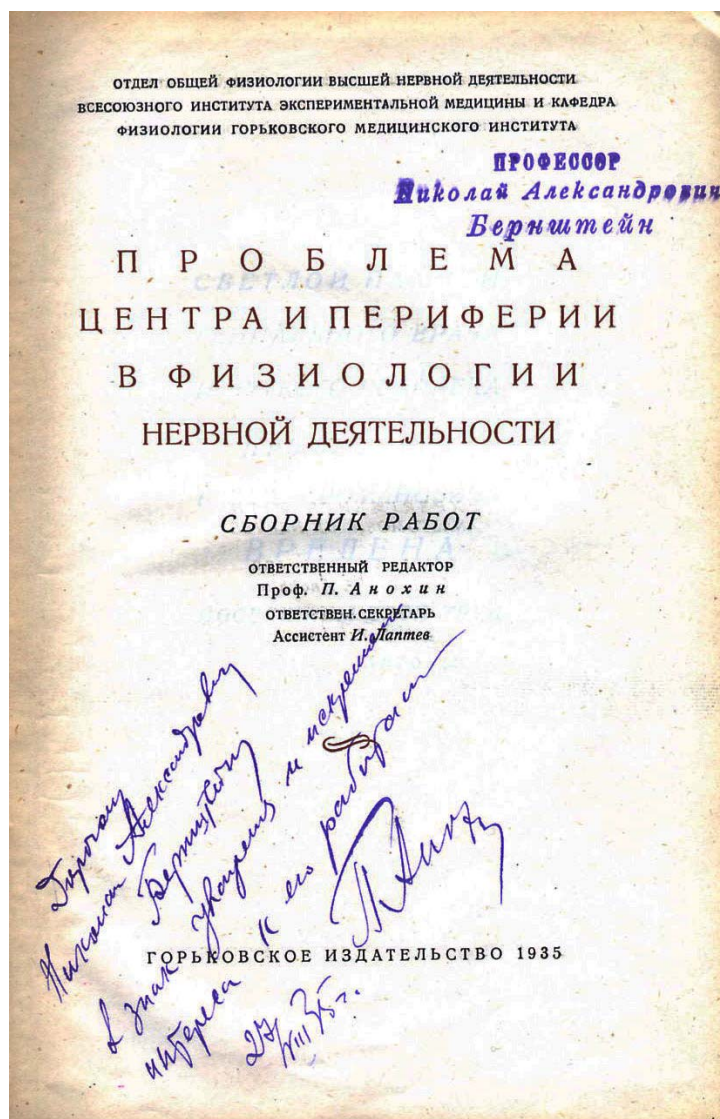


Рис.6. Книга из личной библиотеки Н.А.Бернштейна с его экслибрисом и с дарственной надписью от П.К.Анохина – основоположника общей теории функциональных систем.

Или другой вариант - анастамоз блуждающего нерва со зрительным и язычным нервами.

Хотя похожие опыты ранее уже проводились, но при рассмотрении их результатов, как подчёркивал П.К.Анохин, «значение самих органов, выполняющих ту или иную функцию в конструировании центрального нервного импульса, вообще не учитывалось. Периферия как организующий фактор, как фактор, направляющий и корректирующий всякую эффекторную функцию, нейрофизиологами никогда не принималась во внимание и не получала правильной оценки» [Анохин П.К. 1935 б. с.21].

Действительно, до работ П.К.Анохина вряд ли кто-то мог предполагать, что руководящая роль в процессах восстановления нарушенных функций принадлежит не организующим всё и вся «командным» центрам мозга, а именно двигательной периферии. При этом был не только установлен сам факт лидирующей роли исполнительных структур в реконструкции целостных деятельности организма, но и обосновано положение о системообразующей функции результата периферической активности.

Детальное рассмотрение этих интереснейших (даже с позиций современной нейрофизиологии) опытов не является задачей настоящей работы. Здесь важно отметить главный общий вывод, который П.К.Анохин сформулировал следующим образом. *«Все наши эксперименты, как и эксперименты прежних авторов-физиологов и морфологов (Б.И.Лаурентьев), убеждают в том, что периферия ни при каких условиях не теряет своей специфичности. Какой бы нерв ни подходил к органам, в конце концов, органы (имеются в виду «исполнительные органы» - Л.Б.) продуцируют тот импульс, который связан с их тканевой характеристикой. Таким образом, всякая изменчивость функции связана с изменчивостью именно в нервных центрах, а не на периферии»* [Анохин П.К., 1935. Цит. по кн: Анохин П.К. Узловые вопросы теории функциональной системы. М.: Наука. 1980. С.20] (выделено мной, Л.Б.).

Другими словами, установленные П.К.Анохиным общие правила таковы, что исполнительные структуры, сохраняя свою врождённую функциональную специфичность, способны диктовать любым управляющим ими центрам условия, на которых те должны работать. И командные центры неукоснительно следуют этим направляемым им снизу директивам.

Более того, как показал дальнейший анализ, на самом деле решающая роль в данном случае принадлежит даже не самим исполнительным органам, а результату их деятельности. Именно полезный для организма приспособительный результат детерминирует и работу центра (якобы, всем управляющим), и работу периферии, которая хотя и «консервативна», но также немного меняется в процессе своей стыковки с новым центром, и, наконец, результат императивно определяет новые правила функциональных соотношений центра и периферии. Немаловажное значение здесь, как выяснилось, сохраняет и «родная» для этого центра афферентация, продолжающая оказывать на него своё влияние в восстановительный период.

При этом нельзя не учитывать, что перечисленные выше закономерности отражают динамику процессов, которые наблюдаются исключительно в лабораторной ситуации анастомозов. В естественных же условиях жизнь любого живого существа представляет собой непрерывную последовательность (континуум) сменяющих друг друга **полноценных** функциональных систем [Анохин П.К., 1968]. И все их изменения в фило- и онтогенезе реализуются отнюдь не на основе принципа присоединения определённых центральных элементов к определенным периферическим. Никаких критических для жизни моментов стыковки центра и периферии на самом деле нет. Функциональные системы любого уровня изоморфны прежде всего потому, что в естественных условиях все они являют собой неразрывное единство элементарных центрально-периферических образований: их мельчайших неделимых биоатомов.

Такая расстановка акцентов по сути дела снимает саму постановку проблемы принципиальной неуправляемости исполнительных органов: указывает на не обоснованность искусственного разделения единой центрально-периферической структуры любой функциональной системы на подгруппы управляющих и управляемых элементов.

Именно эти ключевые положения (системообразующая роль достигаемого исполнительными периферией результата и центрально-периферическая форма организации элементарных компонентов функциональной системы) – красной нитью проходят через все последующие научные труды П.К.Анохина. Важнейшим итогом этой грандиозной по своим масштабам работы стала формулировка ряда основополагающих принципов, которые в окончательном виде могут быть изложены следующим образом.

1. Существование любого живого организма неразрывно связано с постоянно идущими процессами формирования функциональных систем различной приспособительной направленности. Жизнь каждого представителя мира живой Природы можно с полным основанием рассматривать как непрерывную последовательность (континуум) таких систем.

2. Все функциональные системы, независимо от уровня их сложности, представляют собой определенные комплексы центрально-периферических компонентов, взаимодействия и взаимоотношения между которыми принимают характер взаимодействия на получение фокусированного полезного результата.

3. Расширение адаптивных возможностей любого живого организма в ходе его фило- и онтогенетического развития обусловлено процессами возникновения новых функциональных систем, точнее говоря, их эволюции путем постепенного преобразования относительно простых объединений центрально-периферических компонентов во все более и более сложные.

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ САМООРГАНИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Первое, что обращает на себя внимание при рассмотрении приведённых выше основных положений теории П.К.Анохина – полное отсутствие в них традиционной для биокibernетики терминологии. Действительно, таких фундаментальных понятий этой науки как обратная связь, саморегуляция, программа действия, сенсорные коррекции, объект управления, управляющая система здесь нет. Вместо этого автор использует один, откровенно чуждый биокibernетике термин - «**взаимоСОдействие**».

Хотя точной расшифровки этого загадочного русского слова до сих пор не существует, никаких оснований подзревать в нём некий скрытый кибернетический смысл явно не приходится. Действительно, словосочетание «взаимное совместное действие» (сокращенно «взаимоСОдействие») в переводе означает *sinergeticos* (греч.) и является базовым понятием не кибернетики, а термодинамики нелинейных неравновесных процессов [Пригожин И., 1971; Хакен Г., 1973]. И это обстоятельство до сих пор почему-то ещё не получило должной оценки в широких кругах физиологической общественности. А, в общем-то, зря. При детальном рассмотрении последних публикаций П.К.Анохина просто невозможно не заметить чётко выраженного стремления автора дистанцироваться от работ, проводимых в области биокibernетики и различных математических версий общей теории систем.

Уже сам факт констатации положения о результате как императивном системообразующем факторе означает признание невозможности описания глобальных свойств функциональной системы через реестр параметров её внутренней структурно-функциональной организации. Все наиболее важные особенности любого подобного образования определяются отнюдь не качеством образующих его элементов и существующих между ними прямых и обратных связей. Исключительная роль здесь принадлежит

именно фактору надкомпонентного уровня (**результату**), динамически возникающему в ходе взаимодействия организма с окружающей его средой и детерминирующему параметры всех внутрисистемных процессов, направленных на его получение.

Неизбежным следствием принятия этих представлений является заключение о необходимости радикального пересмотра традиционной точки зрения о роли механизма обратной связи в процессах формирования функциональных систем. В отличие от биокibernетических моделей, в схеме П.К.Анохина обратная связь реализуется не между элементами системы (эффeкторными и рецепторными), а по сути дела между параметрами их организации. Т.е., речь идёт об особом механизме обратной связи - механизме, который развёртывается на надкомпонентном уровне. На уровне же отдельных системообразующих элементов работает совершенно иной функциональный принцип – принцип их самопроизвольного перехода в состояние так называемого синергетического резонанса, лежащего в основе явления взаимоСoдействия [Бобровников Л., 2008, 2011].

На первый взгляд, синергетическая интерпретация противоречит базовому положению теории П.К.Анохина о системообразующей роли полезного для организма приспособительного результата. Действительно, синергетику принято определять как науку о процессах самоорганизации. Объектом её исследования являются многокомпонентные образования, элементы которых обладают способностью самопроизвольно, т.е. без каких-либо специальных организующих их воздействий, радикальным образом снижать уровень своей энтропии: переходить в высокоорганизованные (низкоэнтропийные) состояния.

Но можно ли в таком случае говорить о способности функциональных систем именно к самоорганизации, если построение каждой из них находится под контролем внешнего по отношению к её элементам (надкомпонентного) системообразующего фактора: «результата»?

Кроме того, здесь неизбежно возникает и так называемый «временной парадокс». По определению, результатом называется происходящее в ходе соотношений организма с окружающей средой событие, которое прекращает действия, направленные на его достижение и обуславливает начало развёртывания следующего поведенческого акта [Швырков В.Б., 1978. С.25-26].

Однако если придерживаться этого определения (а никакого другого, в сущности, и нет), остаётся не ясным: каким образом событие, которое с какой-то долей вероятности может возникнуть только в будущем, способно играть роль императивного системообразующего фактора задолго до момента своего появления?

Попытка разрешить этот клубок взаимосвязанных проблем (взаимосодействие, самоорганизация, временной парадокс) привела нас к выводу о возможности их всестороннего рассмотрения на основе современных методов мультипараметрического компьютерного анализа объектно-ориентированных биомеханических систем с учётом факта их принципиальной неуправляемости «обычным» (командным) способом.

САМОРЕГУЛЯЦИЯ И САМООРГАНИЗАЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНО-ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ

В качестве первого шага в данном направлении рассмотрим схему гипотетического устройства, описанного в одной из работ Н.А.Бернштейна (рис.7).

Представленная на рисунке элементарная биомеханическая система иллюстрирует характерную особенность организации мышечного аппарата позвоночных, а именно, наличие в нём многочисленных пар мышц-антагонистов, состоящих из пучка одинаковых сократительных микроволокон. Синхронная активность определённой их совокупности и приводит к возникновению направленного движения всей системы в целом.

Кроме того, речь идёт о тонически активных двига-

тельных элементах. Наличие мышечного тонуса равнозначно наличию механизма самопроизвольного возврата системы в исходное состояние после каждого выполненного действия. Т.о., движение возникает вследствие асимметричного добавления командного сигнала к базовому уровню тонического влияния, постоянно оказываемого на систему обеих мышц-антагонистов. Амплитуда отклонения от исходной позиции может регулироваться как величиной командного сигнала, так и числом вовлекаемых в процесс синхронной активности групп мышечных волокон.

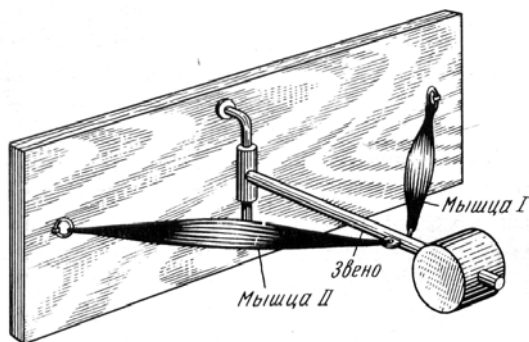


Рис.7. «Подвижное звено, управляемое в его движениях двумя мышцами антагонистами» (Бернштейн Н., 1966. С.86).

Как именно это может происходить? Какие управляющие сигналы должны поступать к изображённым на рис.7 мышцам для того, чтобы в результате у них возник направленный двигательный эффект?

На сегодняшний день существуют два принципиально разных подхода к решению данной задачи. Первый находится в полном соответствии с классическими представлениями созданной Норбертом Винером «науки об управлении в живой природе и обществе». Другой - предполагает использование альтернативного ей синергетического подхода к моделированию подобных систем.

Простейший вариант управления системой

И с инженерной, и с нейрофизиологической точки зрения управление представленной на рис.7 системой проще всего может быть реализовано следующим образом (рис.8). Через коммутационные блоки 1 осуществляется соединение чувствительных входов мышечных волокон с генераторами 2, вырабатывающими командный сигнал управления мышцей, одновременно поступающий на все её сократительные элементы.

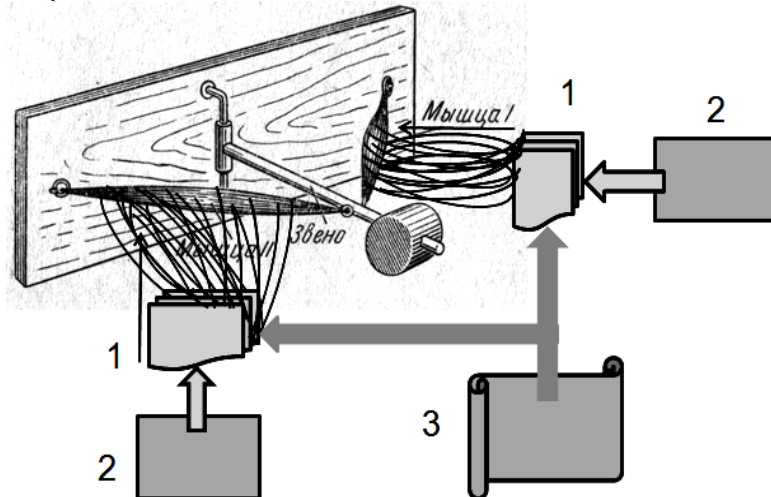


Рис.8. Простейший вариант управления работой рассматриваемого устройства. Пояснение – в тексте.

В зависимости от того, на какую именно мышцу–антагонист (так сказать, «флексор» или «экстензор») подаётся сигнал и возникает движение системы в ту или иную сторону. Генератор 3 создает эффект синхронного тонического воздействия на обе мышцы одновременно, что необходимо для реализации механизма автоматического возврата системы в исходное (центральное) положение по окончании действия командного сигнала.

Т.о., в данном случае принцип синхронизации активности исполнительных микрокомпонентов реализуется путём прямого объединения всех чувствительных входов мышцы «в одну точку» для одновременной подачи на неё одного и того же общего управляющего сигнала. По той же самой, безнадёжно централизованной схеме осуществляется и тоническое воздействие на сократительные структуры рассматриваемой системы.

Всё сказанное относится к силовым аспектам работы данного устройства. Оценка же параметров самого движения исполнительного звена возможна по хорошо известным из классической механики формулам:

$$\mathbf{S} = \int \mathbf{V}(t)dt \quad \text{где} \quad \mathbf{V} = \int \mathbf{F}(t)dt$$

где $\mathbf{S}(t)$ – вектор перемещения исполнительного звена; $\mathbf{V}(t)$ – вектор его скорости; $\mathbf{F}(t)$ – вектор суммарной силы, вызывающей движение.

Прим. Считается, что масса звена $m = 1$ усл. ед.

То, что вектор перемещения исполнительного звена $\mathbf{S}(t)$ в рассматриваемом нами случае позиционируется именно как двойной интеграл векторной величины мышечного усилия логически вполне оправдано. Как совершенно справедливо отмечал в связи с этим Н.А.Бернштейн, «сокращение мышцы есть не причина движения, а его следствие. При всей кажущейся парадоксальности это заключение верно, и действительная последовательность причин и следствий здесь такова: а) изменение напряжения мышцы, б) смещение костей с находящимися на них точками прикрепления концов мышцы, в) изменение длины мышцы. Точно так же, например, расширение пара в паровом цилиндре есть не причина, а следствие движения поршня, в то время как причиной этого движения является давление пара» [Бернштейн Н.А., 1966 с.86].

Однако все эти уточнения касаются лишь некоторых чисто теоретических соображений. Объективный же экспериментальный анализ поведения данной модели (рис.7, 8) совершенно очевидно не возможен вследствие полной неопределённости реальных функциональных свойств живой мышцы, вырезанной из неанестезированного организма и прикреплённой затем к установленному на фанерке металлическому шарниру. Значительно более продуктивным здесь может оказаться другой, реализованный уже полностью технически (без применения садистских методов инженерно-физиологического макетирования) вариант построения той же самой схемы (рис.9). Кроме того, в этой новой модели в виду её одномерности устраняется ряд понятных сложностей, связанных с векторной формой представления анализируемых переменных.

Итак, на рисунке изображена схема устройства, включающая в себя две большие группы взаимосвязанных соленоидов 1. Каждый из них представляет собой обычную катушку индуктивности, внутри которой может свободно перемещаться металлический сердечник 2. Все сердечники жёстко прикреплены к общему основанию 3.

Подача на соленоиды (№1---№n) электрического сигнала приводит к втягиванию их сердечников 2 в катушки 1. В результате, шток 4 сдвигается внутри втулки 5. Соответственно, вся система перемещается на расстояние (ΔS) либо в сторону кнопки звонка 8 (когда электрический сигнал подаётся на правый блок соленоидов), либо в прямо противоположном направлении (когда работает левый блок). Достижение результата (нажатие на кнопку звонка 9) в данном случае обеспечивается путем одновременной подачи от генератора 11 на все соленоиды правого блока линейно нарастающего электрического сигнала. Функция удержания кнопки 8 в нажатом состоянии с её последующим отключением реализуется через классический контур обратной связи, идущей с выхода тензодатчика 10 на блок управления работой генератора 11.

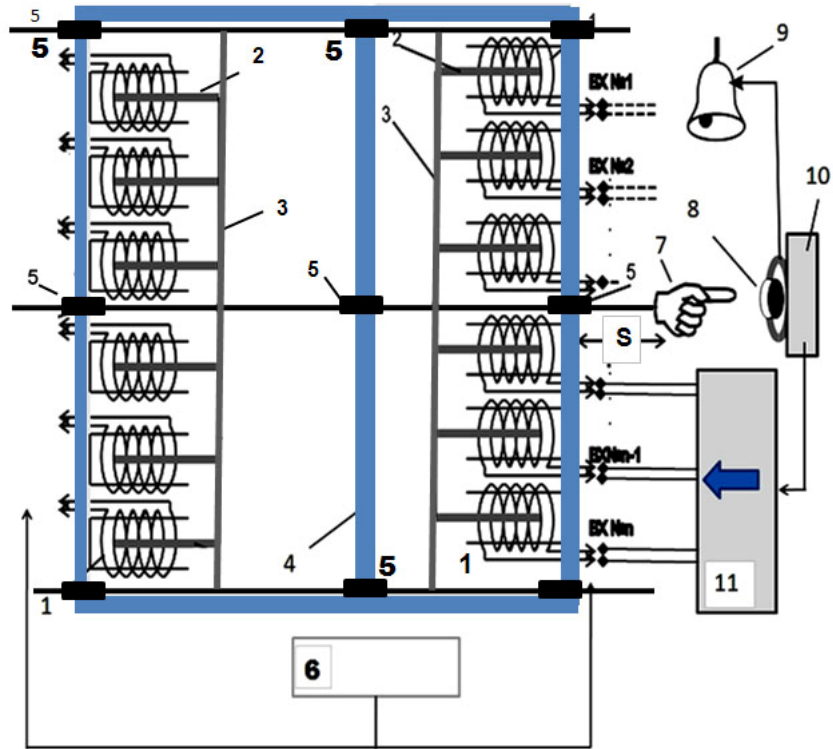


Рис.9. Технический аналог предложенной Н.А.Бернштейном биомеханической модели, позволяющий устранить фактор неопределенности функциональных свойств мышечных групп, находящихся вне живого организма (т.ск. «на свежем воздухе»).
Подробное пояснение – в тексте.

Источник постоянного тонического сигнала 6, одновременно подаваемого как на левый, так и на правый блоки, необходим для создания эффекта «пружины», которая возвращает систему в исходное состояние в постактивационный период абсолютной рефрактерности рабочего блока.

LabVIEW интерпретация модели Н.А.Бернштейна

Представленная на рис.9 схема гипотетического устройства легко поддаётся формализации в среде объектно-ориентированного моделирования LabVIEW.

Прим. Как известно, каждая программа LabVIEW является программным аналогом определённого устройства, которое имеет две формы представления. Первая из них – так называемая лицевая панель («Control Panel») - отражает своего рода внешний вид данного устройства и содержит различные инструменты ввода и вывода информации. Вторая форма представления LabVIEW прибора называется блок-схемой («Block Diagram»), которая описывает математический или логический алгоритм его работы. Данные между функциональными узлами устройства передаются здесь при помощи специальных связей, которые изображены на блок-схеме разноцветными линиями различной толщины, в зависимости от типа распространяющихся по ним сигналов.

При внешней схожести Block Diagram со схемой электронного устройства, нельзя забывать, что речь здесь идёт о сугубо **математической**, а не электрической форме отражения реальных процессов (в нашем случае – нейрофизиологических). Другими словами, объектами перемещения по межкомпонентным связям и преобразований в узловых блоках являются не электрические токи, а числа.

В библиотеке среды графического программирования LabVIEW содержится большое количество уже готовых программ-устройств, которые очень удобно использовать при создании своих собственных (новых) приборов. Поуровневый путь к ним далее будет указываться в фигурных скобках. По сути дела основная работа программиста сводится здесь к выбору того или иного прибора из огромной библиотеки уже существующих виртуальных устройств и формированию из них путём объединения все более и более сложных систем.

На рис.10 представлена одна из таких разработок, моделирующая изображённую на рис.9 электромеханическую систему.

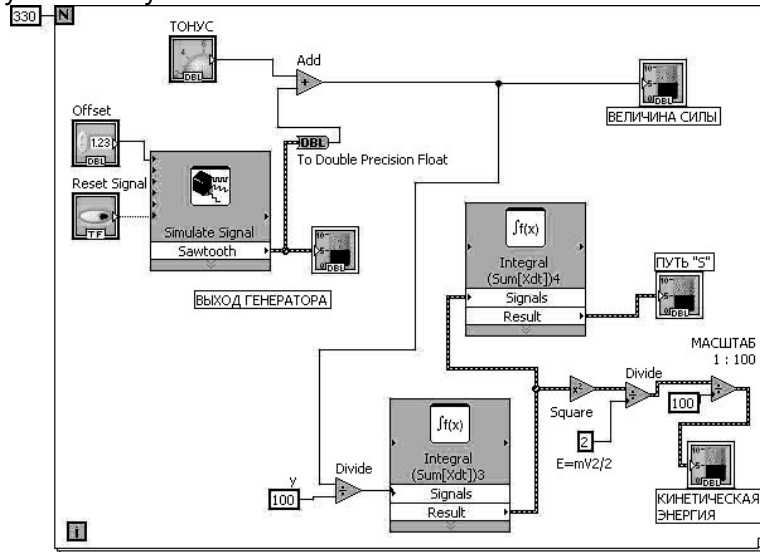


Рис.10. Математический алгоритм работы модели, представленной на рис.9 (MODEL-01-013.vi).

Генератор линейно нарастающего напряжения “Simulate Signal” периодически формирует на одном из входов сумматора “Add” сигнал, на который накладывается постоянная составляющая «ТОНУС». После чего, сформированный таким образом комплексный поток чисел подается на вход блока двойного интегрирования: Integral (Sum[Xdt])3 и Integral (Sum[Xdt])4. Его выходная функция отражает временную динамику движения $S(t)$ рабочей точки исполнительного звена системы, грубо говоря, пальца 7, перемещающегося в сторону кнопки 8 (рис.9).

Для анализа изменения уровня кинетической энергии системы числовой сигнал с выхода первого интегратора Integral (Sum[Xdt]) 3 («скорость») подаётся сначала на блок возведения во вторую степень {«Square»}, а затем на дели-

тель $\frac{1}{2}$. Получающийся в результате выходной сигнал соответствует величине кинетической энергии в текущий момент времени, которая отражается индикатором «КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ».

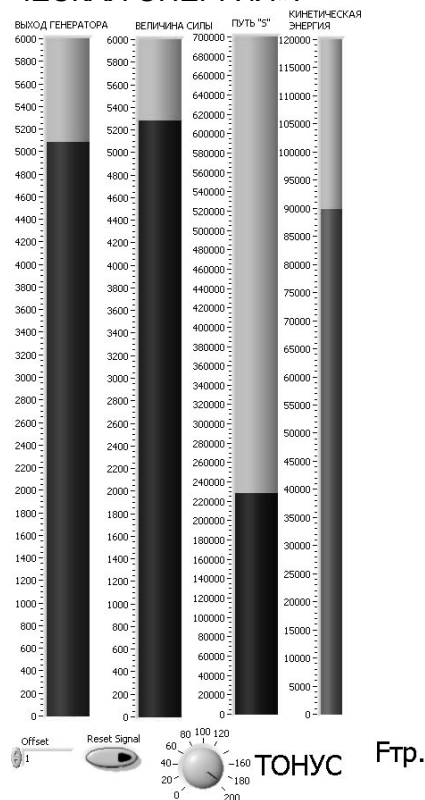


Рис.11. Лицевая панель MODEL-01-013.

Его выходная функция после преобразования в соответствии с известной формулой вычисления кинетиче-

Индивидуальная активность отдельных двигательных единиц здесь не показана, поскольку все они работают в режиме полного дублирования. Производимый ими общий двигательный эффект равен простой сумме активностей отдельных элементов.

ACTION. Лицевая панель vi-прибора представлена на рис.11.

Включение устройства расположенной на главной панели инструментов кнопкой запуска приводит к тому, что линейно нарастающий сигнал с выхода генератора Simulate Signal {**Simulate Sig** ↔ Input ↔ Express ↔ Functions} после суммации {**Add** ↔ Numeric

↔ Mathematics ↔ Function} с постоянной составляющей «тонус» {**Dial** ↔ Numeric

ской энергии ($E=mV^2/2$) проходит через блок масштабирования выходного сигнала (1:100) на вход индикатора «кинетическая энергия» лицевой панели устройства {**Waveform Chart** ↔ Graph ↔ Control}. Сигнал же с выхода второго блока интегрирования **Integral (Sum[Xdt])4** поступает на другой («путь S») аналогичный индикатор лицевой панели и отражает динамику изменения текущего местоположения исполнительного звена системы.

Работа всех блоков рассматриваемой системы осуществляется в рамках временного цикла «For Loop», использование которого открывает возможность записи результатов работы устройства в память компьютера в форме текстово-цифровых файлов для последующего их статистического анализа в программах Excel, Matlab, Statistic et. al. В качестве первичного материала статистической обработки в данном случае выступали ряды данных, полученных с помощью субВП **Write To Measurement File** {Programming ↔ File I/O}. Результаты такой обработки представлены на рис.12, который иллюстрирует динамику изменения основных параметров движения модели Н.А.Бернштейна при разных уровнях тонус-сигнала.

ВЫВОДЫ по итогам работы **MODEL-01-013.vi**:

В идеальных условиях при отсутствии дополнительных внешних сил, в частности, силы трения, традиционная схема управления демонстрирует очевидную лёгкость своей реализации и полную воспроизводимость поведения системы в ходе последовательного воздействия на неё одного и того же программно-детерминированного комплекса командных сигналов. Единственным недостатком здесь можно считать наличие значительной инерционной составляющей исполнительного звена, затрудняющей воспроизведение ситуации оптимального по силе давления «рабочей точки» устройства на соответствующий объект воздействия. Обращает на себя внимание и нелинейный характер зависимости перемещения исполнительного звена от величины прикладываемой к нему силы.

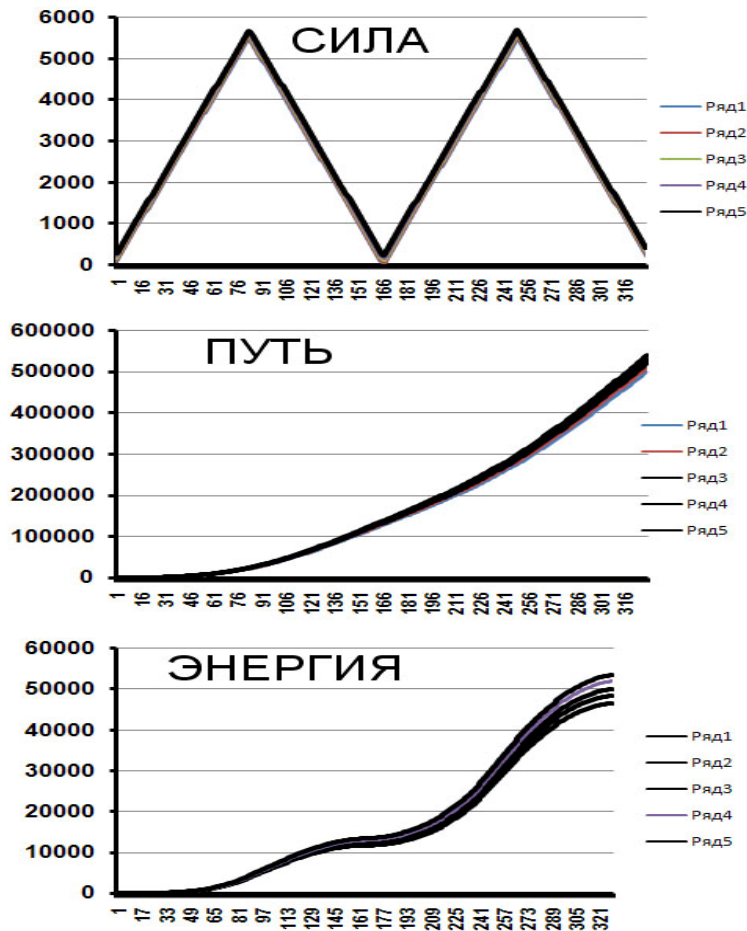


Рис.12. Динамика изменения трёх основных показателей движения MODEL-01-2013: величины силы напряжения мышц (верхний график); амплитуды перемещения исполнительного звена (центральный блок графиков) и величины кинетической энергии системы (нижний график). Ряд 1 – тонус=0; ряд 2 – тонус=50 усл.ед.; ряд 3 – тонус=100 усл.ед.; ряд 4 – тонус=150 усл.ед.; ряд 5 – тонус=200 усл.ед. По оси абсцисс – время (порядковый номер итерации).

виртуального прибора, делающего возможным изучение поведения предыдущей модели в ситуации появления участка пути с меняющейся по величине силой трения. Конкретные координаты этого участка задаются двумя регуляторами ползункового типа: S1 – его начало, S2 – конец. Крайний правый регулятор позволяет менять величину силы трения (рис.14).

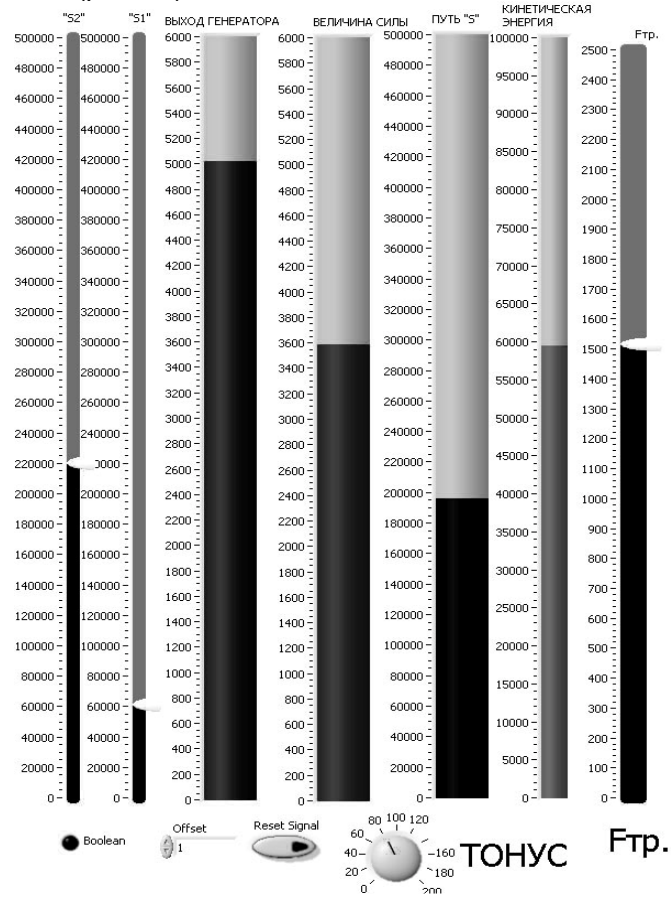


Рис.14. Лицевая панель MODEL-02-013.
Пояснение - в тексте

ACTION

Запуск рассматриваемой модели с главной панели управления программой LabVIEW приводит к включению линейно нарастающего сигнала генератора и, как следствие, линейного же увеличения силы мышечного усилия, которое приводит к возникновению двигательной активности исполнительного звена системы. В момент достижения рабочей точкой системы положения S1 происходит автоматический сброс сигнала генератора на величину $F_{тр}$. Отключение $F_{тр}$ осуществляется в траекторной точке S2.

Наблюдаемая при этом двигательная реакция носит сложно выраженный нелинейный характер. Нелинейным оказывается и эффект влияния факторов «тонуса», а также величины «силы трения» на параметры движения (рис.15). Этот основной общий вывод основывается на результатах тестирования модели при разных параметрах её регулируемых переменных (рис.16).

ВЫВОДЫ по итогам анализа:

Наличие инерционной составляющей, также как и силы трения, неизбежно приводит к тому, что динамика перемещения исполнительного звена полностью перестаёт соответствовать динамике изменения силовых характеристик системы. Как следствие, управляя силой мышечного напряжения, уже невозможно точно контролировать параметры координат и скорости движения рабочей точки.

В ситуации введения участка с силой трения возникает явление глобальной неравномерности выполняемого действия, судя как по динамике его силовых характеристик, так и по параметрам перемещения исполнительного звена. Причем, и те и другие демонстрируют сложный характер зависимости от величины силы трения и местоположения участка с трением на оси координат.

Моделирование программно воспроизводимых силовых характеристик в области нахождения рабочей точки (динамики изменения её давления на объект) в данном случае становится практически не возможным.

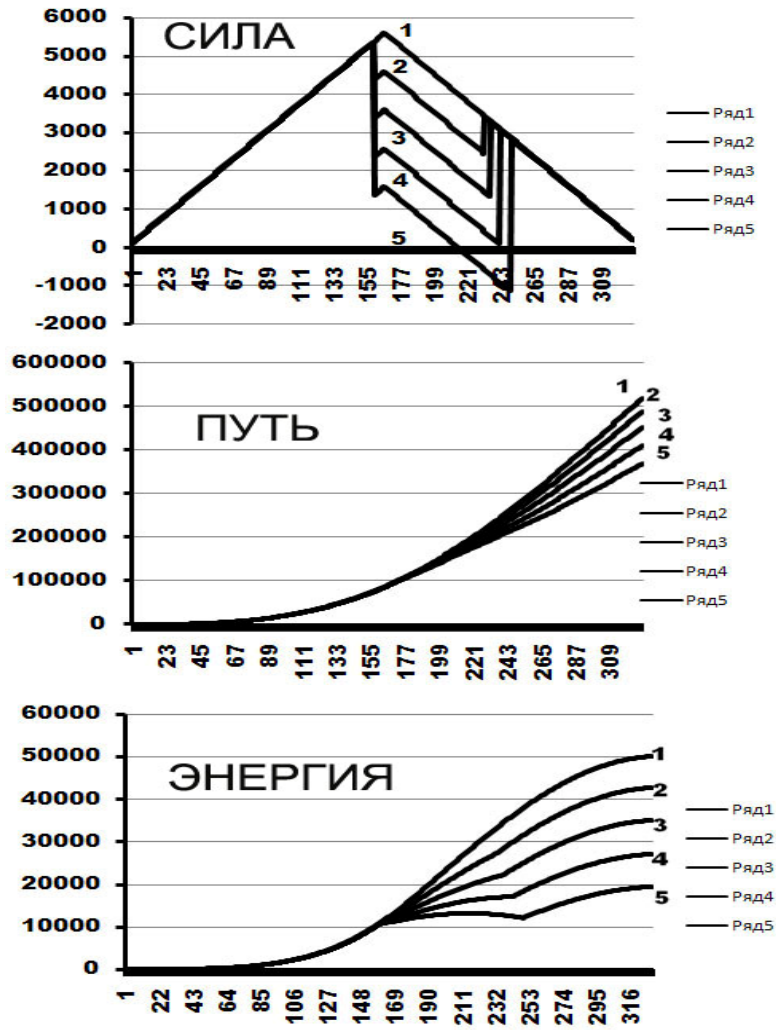


Рис.15. Динамика движения MODEL-02-013 при постоянной величине тонуса = 100 усл. ед., но при разных уровнях силы трения: 1 ряд – $F_{тр}=0$ усл.ед.; 2 ряд – $F_{тр} = 1000$ усл.ед.; 3 ряд – $F_{тр}=2000$ усл.ед.; 4 ряд – $F_{тр} = 3000$ усл.ед. 5 ряд – $F_{тр}=4000$ усл.ед. По оси абсцисс – время (порядковый номер итерации).

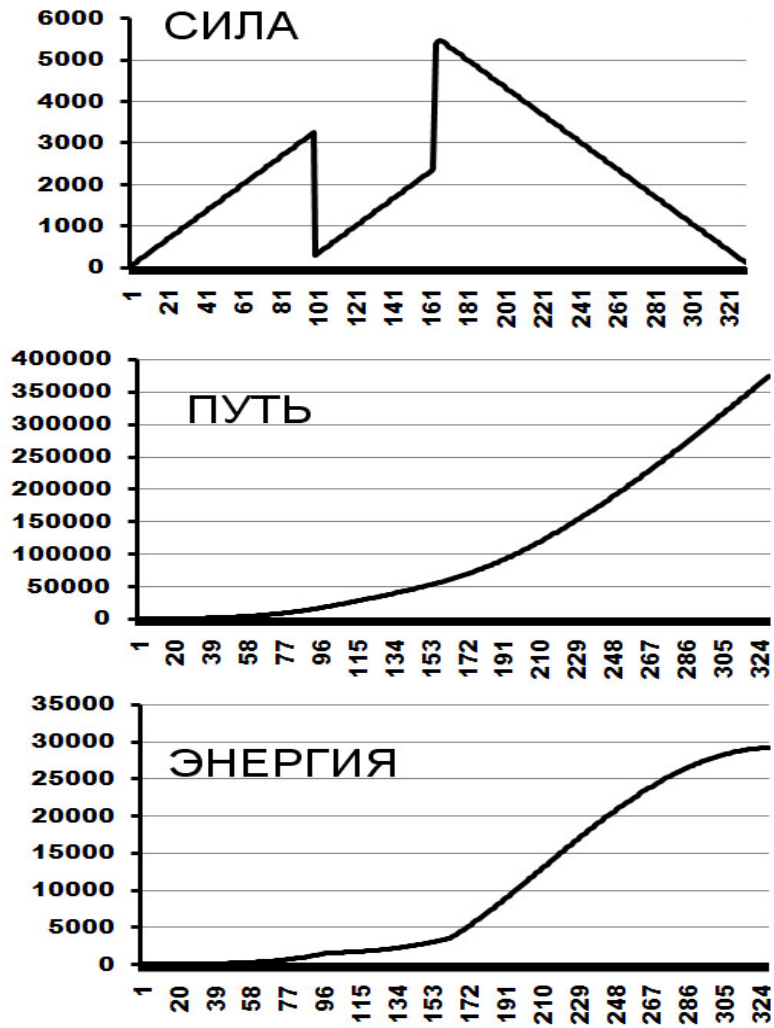


Рис.16. Динамика движения MODEL-02-013 при другом расположении «участка пути с трением». Тонус=0 усл. ед. Сила трения $F_{тр}=3000$ усл.ед. Начало зоны её действия: $S1=20000$ усл.ед. Окончание: $S2 = 60000$ усл.ед. По оси абсцисс – время (порядковый номер итерации).

Еще более реалистичный вариант LabVIEW-версии модели Н.А.Бернштейна (MODEL-03-013.vi)

В рассмотренных выше случаях движение системы было обусловлено стимуляцией её исполнительного звена медленно нарастающим и медленно спадающим линейным сигналом. Анализ наблюдаемых при этом закономерностей, хотя и позволяет пролить свет на некоторые особенности функциональной организации подобных образований, всё же чрезвычайно далёк от понимания реальных законов биомеханики живого движения. Последнее, несомненно, обладает целым рядом совершенно особых качеств, заслуживающих внимания при любой попытке его адекватного моделирования.

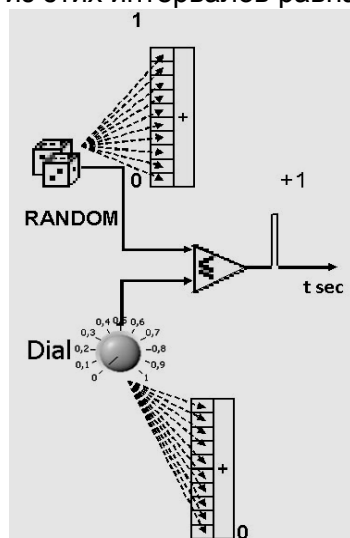
Так, судя по внешнему виду изображённых на рис.7 мышечных связок, они являются извлечёнными из организма фрагментами поперечно-полосатой мускулатуры, характерной особенностью которой является импульсная форма организации электро-механической активности образующих её волокон. Другими словами, и сами сокращения, и неразрывно связанный с этим процесс генерации потенциалов действия происходят в виде коротких импульсов. Причем, такого рода импульсация у разных волокон, принадлежащих одной и той же мышце, не синхронизирована. Никакой общей «входной точки» запуска их работы на самом деле нет.

Другим, не менее примечательным качеством подобных образований является нестабильный характер зависимости их реакции на последовательность стереотипных командных импульсов. Конкретное проявление такого рода нестабильности может выражаться в форме развития процесса габитуации или, наоборот, сенситизации. Важно другое. Главное, что параметры реакции мышечной системы в данном случае уже могут быть определены только на основе методов теории вероятности и математической статистики.

Учитывая это, при разработке новой LabVIEW версии базовой модели (рис.9) использовался следующий принцип формирования реакции многокомпонентной системы на её внешнюю стимуляцию (рис.17).

Основным функциональным элементом здесь является компаратор, на один из входов которого подаётся непрерывный числовой поток с выхода генератора случайных чисел (Random). На другой его вход идёт тот самый внешний раздражитель, на который и должна возникать ожидаемая стохастическая реакция устройства.

Для того, чтобы разобраться как работает эта схема, мысленно разобьём весь амплитудный диапазон выхода генератора случайных чисел Random на 10 равных интервалов: 0-0,1; 0,1-0,2...0,9-1. Вероятность того, что генерируемое в рамках любой из итераций число попадёт в один из этих интервалов равна 10% (т.е. $P=0,1$).



Аналогичное мысленное разбиение на 10 таких же диапазонов проведём и для управляющего входа компаратора.

Что в результате будет наблюдаться на выходе устройства, если на управляющем входе установить, например, постоянный уровень сигнала 0,1? Ответ очевиден. Поскольку в 90% итераций (квантов времени) вбрасываемые генератором случайные числа будут попадать в область от 0,1 до 1, на выходе компаратора, как правило, будет

Рис. 17. Схема формирования потока потенциалов действия с регулируемой вероятностью их генерации. Пояснение – в тексте.

сохраняться логический ноль. Лишь у 10% Random-вбросов числовой сигнал будет находиться в области от 0 до 0,1, и, как следствие, компаратор выдаст на выходе логическую единицу. В рамках какой именно из будущих итераций это произойдет, заранее, разумеется, не известно. Точно можно сказать лишь то, что вероятность данного события составит 10%.

Увеличение амплитуды управляющего сигнала Dial с 0,1 до 0,3 приведёт к соответствующему увеличению этой вероятности до 30%. Продолжение повышения его уровня до 0,5; 0,7 и т.д. значений будет сопровождаться прямо пропорциональным возрастанием величины вероятности появления на выходе компаратора сигнала логической единицы. Наконец, если регулятором Dial выставить максимально возможный сигнал «1», все вбрасываемые Random-генератором числа будут вызывать на выходе системы постоянный сигнал логической единицы, поскольку все они без исключения, либо меньше, либо равны единице.

В том случае, если на вход «Dial» компаратора подавать не постоянный, а быстроменяющийся по амплитуде сигнал, окажется, что в разные моменты времени реакция на него рассматриваемой системы будет различной в зависимости от текущего состояния, задаваемого генератором случайных чисел «Random».

Полная блок-схема нового устройства представлена на рис.18. В целом она почти повторяет ранее описанный алгоритм работы предыдущей модели (рис.13). Отличие касается лишь типа сигналов, идущих от каждого из каналов к общему сумматору 4. В данном случае это последовательность стандартных по амплитуде и длительности импульсов (потенциалов действия), вероятность генерации каждого из которых меняется в зависимости от величины опорного сигнала, задаваемого генератором «Simulate Signal2». Указанные изменения вероятности происходят синхронно во всех двадцати каналах устройства. Однако, принципиально важная особенность рассмотренной выше

MODEL-03-013.vi состоит в том, что в отличие от двух предыдущих разработок подача здесь «в одну общую точку» одного и того же опорного сигнала не приводит к возникновению синхронной (сорганизованной) реакции всех элементов системы. Их импульсная активность всё равно продолжает идти «вразнобой».

Все блоки математической обработки сигнала, образующегося на выходе сумматора «Compound Arithmetic» полностью повторяют аналогичную часть MODEL-01-013.vi и MODEL-02-013.vi. Учитывая это, в данном случае не имеет смысла детально останавливаться на подробностях построения блок-диаграммы рассматриваемой системы.

Action

Запуск устройства с главной панели управления LabVIEW приводит к тому, что на индикаторе «ВЫХОД ГЕНЕРАТОРА» (рис.19) начинает отражаться плавное нарастание управляющего сигнала, который вызывает плавное же увеличение уровня вероятности генерации во всех 20-ти каналах системы потенциалов действия. Соответственно, наблюдаемые на другом индикаторе – «ВЕЛИЧИНА СИЛЫ» - скачки импульсов постепенно перемещаются в область больших числовых значений. Более интенсивной становится и активность линейки 20-ти светодиодных индикаторов спайковой активности элементов устройства.

Однако все эти проявления интенсификации работы системы поначалу не приводят к возникновению у неё двигательной активности. Судя по показаниям индикаторов «ПУТЬ S» и «КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ», система продолжает пребывать в состоянии покоя. Первые признаки движения наблюдаются лишь спустя довольно продолжительный период времени. При этом обращает на себя внимание асинхронность изменения параметров «путь» и «энергия» во времени. Особенно выраженные формы такого рода фазная несогласованность приобретает при увеличении «силы трения».

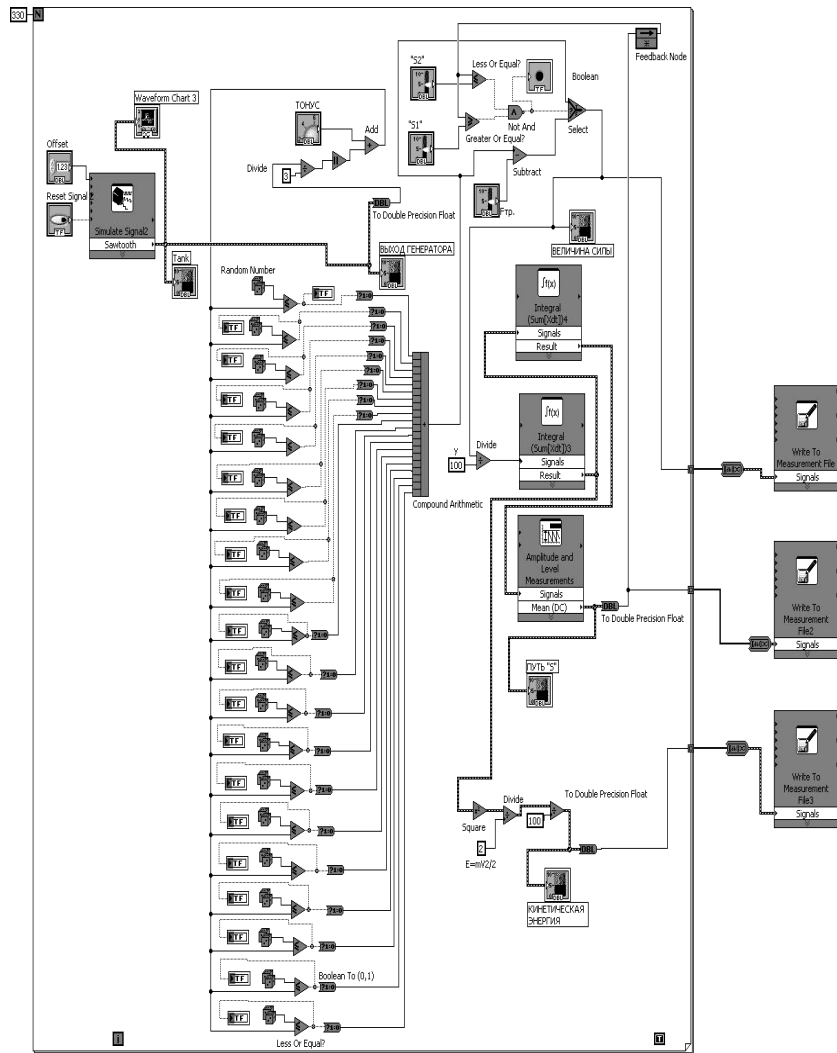


Рис. 18. Алгоритм работы MODEL-03-013.
Пояснение – в тексте.

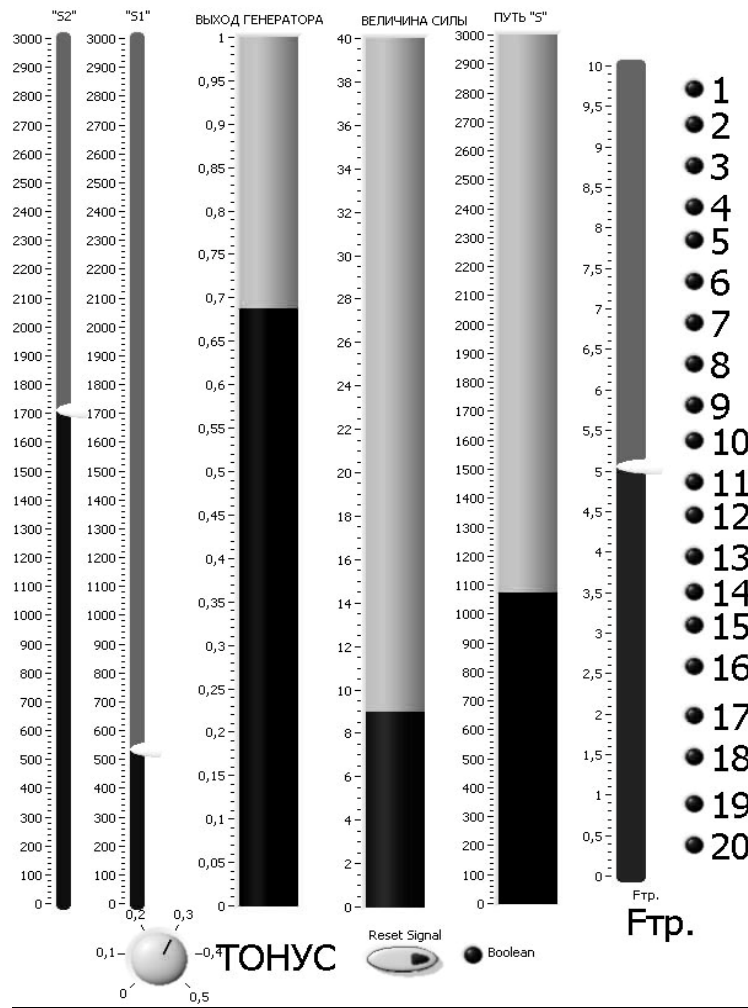


Рис.19. Лицевая панель MODEL-03-013. Индикаторы и регуляторы (слева – направо): регулятор верхней границы участка с трением; регулятор нижней границы; сигнал на выходе генератора; индикатор величины силы мышечного усилия; путь движения «рабочей точки» системы; регулятор величины силы трения; светодиодные индикаторы потенциалов действия в каждом из 20-ти каналов системы; величина кинетической энергии системы.

Полная картина изменений параметров рассматриваемой системы, наблюдаемых в ходе её работы, представлена на рис.20. Здесь приведён набор построенных в Microsoft Excel графиков, отражающих динамику движения исполнительного звена. Необходимые для этого данные, как уже отмечалось, были собраны с помощью субВП **Write To Measurement File** {Programming ↔ File I/O}.

В последующих разработках в связи с необходимостью использования временных циклов While Loop (вместо For Loop) нам потребовалось применять принципиально иной метод протоколирования и обработки данных LabVIEW анализа.

Суть этого метода заключалась в том, что при помощи специальной программы прямой видеозаписи с экрана монитора компьютера (VScreenCamera v.4.6.0.100) в формате Microsoft AVI производилась видеорегистрация работы изучаемой LabVIEW-модели. Затем, в другой программе - VirtualDub-MPEG2-Rus 1.6.11 - в режиме покадрового просмотра записанного видеоролика осуществлялось воспроизведение AVI-файла. Все наблюдаемые изменения параметров работы исследуемой системы заносились «вручную» в специальную таблицу программы Microsoft Office Excel, активированную на другом, параллельно работающем компьютере. После чего производилась статистическая обработка и построение соответствующих графиков.

На рис.21 представлены полученные таким способом результаты работы все той же самой MODEL-03-013.vi, что и на рис.20. Нетрудно заметить полное совпадение графиков, построенных на основе применения этих двух совершенно разных методов обработки VI-данных.

Прим. Покадровая расшифровка динамики движения системы не тождественна поитерационной! Здесь нет прямого совпадения: один кадр AVI = одна итерация в LabVIEW. Масштабы времени у них разные. Это достаточно важный, на мой взгляд, момент.

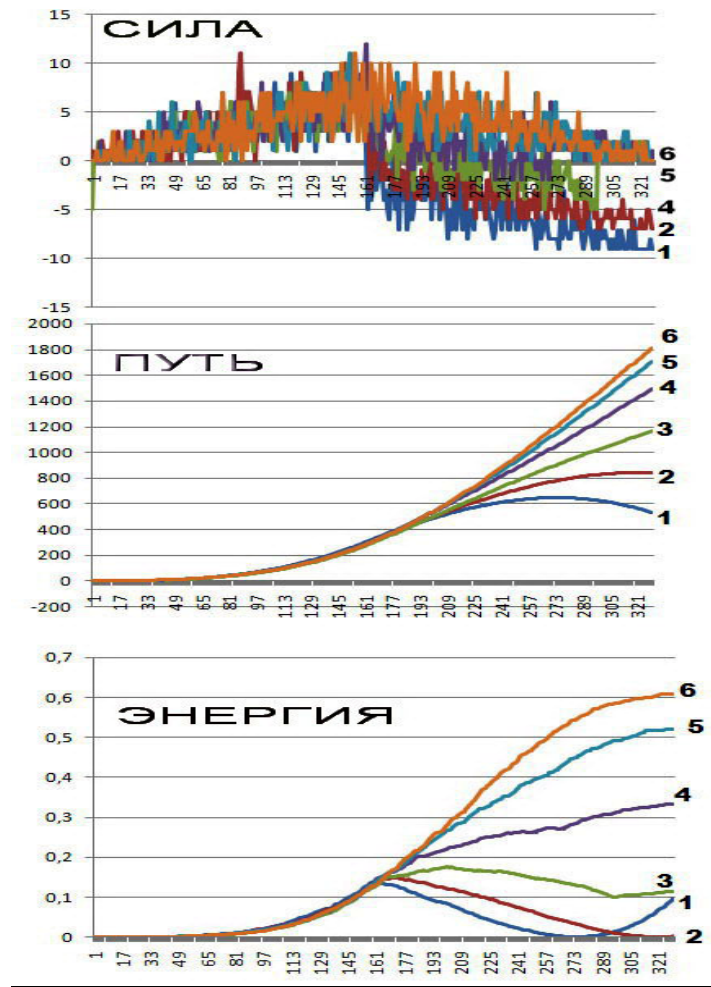


Рис.20. Динамика изменения основных кинематических показателей в ходе реализации двигательной активности MODEL-03-013 при величине тонуса=0. Обозначения «сила-путь-энергия» как на рис.15. $F_{тр.}=9$ усл.ед. (1 граф.); $F_{тр.}=7$ (2 граф.); $F_{тр.}=5$ (3 гр.); $F_{тр.}=3$ (4 гр.); $F_{тр.}=1$ усл. ед. (5 гр.); $F_{тр.}=0$ (6 граф.).

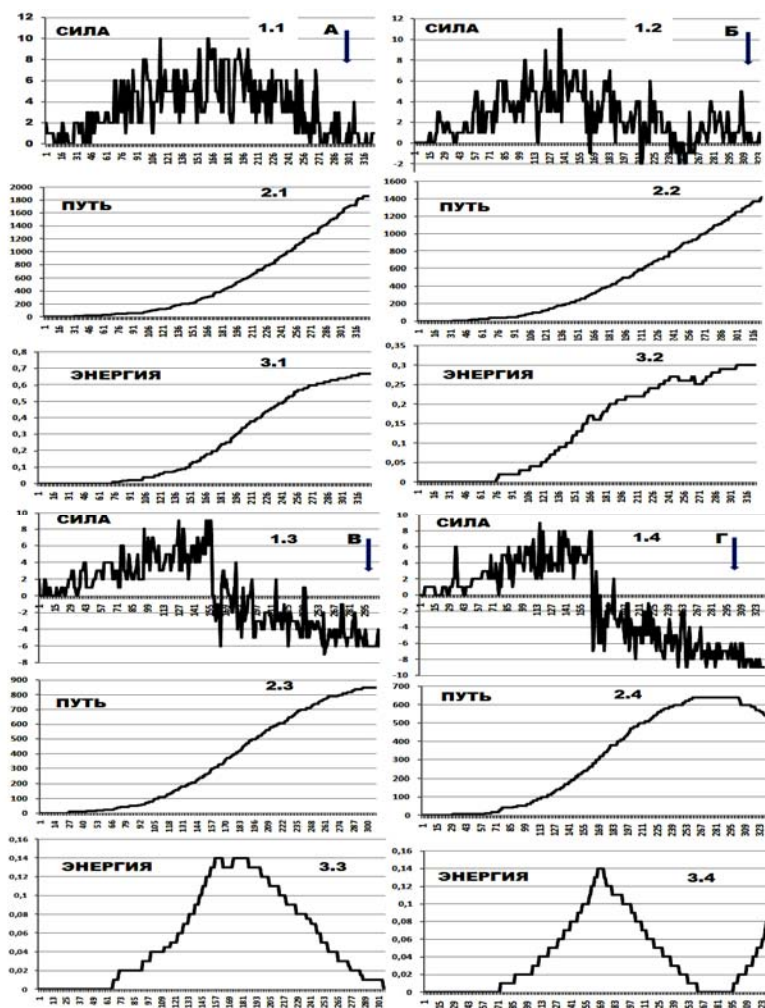


Рис.21. Те же самые графики, что и на рис.20, но построенные методом кадрового видеонализа активности MODEL-03-013. 1.1-1.4 – сила мышечного напряжения; 2.1-2.4 – путь рабочей точки; 3.1-3.4 - величина кинетической энергии системы. Блок графиков «А»: $F_{тp}=0$. Блок «Б»: $F_{тp}= 3$ усл.ед. Блок «В»: $F_{тp}= 7$ усл.ед. Блок «Г»: $F_{тp}= 9$ усл.ед.

**ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАЗДЕЛУ: LABVIEW
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НЕЙРОКИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ КЛАССИКИ**

1. Формирование последовательности стереотипных координированных действий при использовании традиционных (командных) методов управления биомеханическими системами возможно только при отсутствии каких-либо дополнительных, не входящих в программу движения силовых влияний. Появление последних неизбежно приводит к возникновению сложных реакций нелинейного типа – реакций, конкретные параметры которых зависят от целого ряда трудноконтролируемых переменных.

2. В подобных условиях отразить в программе предстоящего действия такие важнейшие условия достижения результата как сила нажатия (величина давления, развиваемая системой в области «рабочей точки») или время поведенческого акта («время реакции») оказывается в принципе невозможным.

3. Зависимость поведения системы от момента включения режима «трение»: после прохождения участка с трением включение последнего уже никак не сказывается на параметрах двигательной активности. Этот, на первый взгляд, совершенно очевидный вывод, на самом деле, имеет очень важное значение, суть которого станет понятна при рассмотрении синергетической интерпретации рассмотренных выше моделей.

4. Перечисленные выше особенности организации двигательной активности неизбежно приводят к тому, что гипотетический механизм непрерывных сенсорных коррекций «живого движения» полностью утрачивает свою эффективность. Используя его, также невозможно обеспечить формирование координированной целенаправленной деятельности, как и на основе сугубо командного (программно-детерминированного) способа её построения.

Часть 2

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ САМООРГАНИЗАЦИИ НЕЙРООПЕРАНТНЫХ ГРУПП

При рассмотрении представленной Н.Бернштейном схемы (рис.7) нетрудно заметить, что несмотря на её кажущуюся простоту, практическая реализация заложенной в ней идеи предполагает проведение довольно сложного комплекса специальных подготовительных мероприятий. А именно, перед тем как прикреплять живые мышцы к металлическому шарниру, они вначале должны быть отсоединены хирургическим путём от своего «родного» нервного центра. Затем, чтобы сделать их работоспособными вне организма, вместо нейронов этого центра необходимо использовать имплантируемые в мышцу электроды, подключённые к электростимулятору. Только с его помощью в новых условиях можно будет добиться мышечного сокращения, которое и приведёт в движение исполнительный орган.

Особого внимания, на наш взгляд, заслуживает тот факт, что последовательность перечисленных выше экспериментальных процедур очень сходна с тем, что делал П.К.Анохин в своих опытах с гетерогенными анастомозами.

Действительно, и у П.К.Анохина, и у Н.А.Бернштейна речь идёт об искусственном разделении изначально единых центрально-периферических образований на отдельные части (так сказать, командную и исполнительную). После чего возникает необходимость проведения специальных мероприятий по восстановлению работоспособности исследуемой системы, но уже на основе иных, чрезвычайно далёких от исходной физиологической реальности принципов. Разница заключается лишь в том, что после разрушения естественной связи «центр-периферия» в качестве нового управляющего центра в модели Н.А.Бернштейна предлагается использовать не другую «командную» структуру мозга, а её технический аналог: электронный стимулятор как своего рода «протез» нейронного представительства разрушенных двигательных единиц.

Однако при этом неизбежно возникает вопрос, а удастся ли сформировать при помощи такого «протеза» достаточно эффективную систему миостимулирующих команд, вызывающих движение исполнительного органа с приблизительно теми же параметрами, что и в дооперационный период?

Актуальность постановки данного вопроса вполне понятна. Ведь, в ситуации с гетерогенными анастомозами решить эту задачу, как выяснилось, в принципе не возможно. Результаты проведённых П.К.Анохиным исследований со всей определенностью показали, что мышечные поля не являются чувствительными площадками, предсказуемо реагирующими на действие центральных стимулов. А структуры мозга не способны выступать в качестве самостоятельных командных центров, которые можно произвольно, в шахматном порядке переставлять для достижения тех или иных полезных для организма приспособительных результатов. Как не присоединяя таким способом нейроны или их электронные аналоги к мышечным волокнам, ничего продуктивного из этого всё равно не выйдет.

Применительно к моделям Н.А.Бернштейна обоснованность этого заключения полностью подтверждается результатами объектно-ориентированных исследований. Более того, благодаря проведённому на основе LabVIEW-технологий анализу, становится понятной главная причина неизбежного возникновения трудностей управления подобными образованиями.

Дело в том, что командный центр (генератор 2 на рис.9) позволяет управлять только силой мышечного напряжения. Задавать на генераторном уровне саму функцию перемещения исполнительного звена $S(t)$ в принципе невозможно. То же самое относится и к показателю кинетической энергии системы $E(t)$. Как выяснилось, независимо от формы подачи управляющего сигнала (в аналоговом или импульсном виде) двигательный ответ на него всегда носит сложно выраженный, нелинейный, зачастую разнонаправ-

ленный характер. В результате, абсолютно неэффективным становится также и механизм сенсорного корригирования движения «по шаблону» некой «идеальной траектории», а не модели «идеального мышечного усилия».

Действительно, допустим, рецепторный аппарат системы в какой-то момент зафиксировал факт отклонения текущего местоположения её исполнительного звена от запланированной траектории. Всё, что после этого может сделать управляющее устройство - послать сигнал мышцам на какое-то изменение силы их напряжения. Но что это даст в плане восстановления нарушенной переменной $S(t)$? Да ровным счётом ничего! Достаточно посмотреть на набор графиков, которые представлены на рис.12, рис.15, чтобы понять, что даже в простейших однозвенных кинематических цепях, в результате влияния силы инерции и силы трения никакая экстренная корректировка траектории движения таким способом в принципе невозможна. Колоссальная зависимость поведения системы от поля внешних и внутренних сил деструктивно влияет не только на эффект воздействия программно-детерминированного центрального стимула, но и полностью извращает работу механизма сенсорного корригирования его последствий.

Этот вывод имеет смысл повторить ещё раз. В естественных условиях **экстренная форма реализации непрерывных сенсорных коррекций эффективности по «шаблону идеальной траектории» оказывается в принципе невозможной**. Соответственно, предположение о наличии указанного механизма в качестве решающего фактора построения координированных действий не имеет под собой серьёзных оснований. Но где же, в таком случае, следует искать объяснение процессам формирования целенаправленного поведения человека и животных?

Чтобы получить ответ на этот вопрос, на наш взгляд, стоит вновь вернуться к схеме Н.А.Бернштейна (рис.7) и ещё раз попытаться проанализировать: **а что здесь было до того, как мышечные волокна оказались отрезанны-**

ми от иннервирующих их структур мозга? Ведь живые мотонейроны перед тем как их оторвали от мышцы весьма успешно справлялись с решением данной задачи. Значит, в принципе это было возможно! Но вот как именно?

Ключ к ответу на поставленный вопрос, на наш взгляд, заключается в следующем. Дело в том, что в обеспечении активности мышц интактного организма принимали участие не просто «обычные» («формальные») нейроны, а, так называемые, **системоспецифичные нервные клетки**. Именно присутствие этих особых клеточных единиц в командных центрах мозга открывало возможность решения проблемы управления принципиально неуправляемыми многозвенными кинематическими цепями.

В теоретическом плане явление системной специализации нервных клеток было предсказано в работе П.К.Анохина «Системный анализ интегративной деятельности нейрона» [Успехи физиологических наук. 1974. №2. С.5-92]. В этой, а также в другой, опубликованной несколько ранее статье [Анохин П.К., 1973], с позиций общей теории функциональных систем было обосновано положение о детерминирующей роли **результата** поведенческого акта в организации активности отдельных нейронов. Вскоре были получены и прямые экспериментальные подтверждения этой гипотезы. Конкретно, это произошло в конце 1970-х годов, когда в ходе проведения микроэлектродных исследований на свободноподвижных животных впервые удалось установить наличие в мозге большого числа нервных клеток, функционально связанных не с воздействием тех или иных локальных афферентных стимулов или сокращением определённых мышечных волокон, а именно с конечным результатом целенаправленного поведения.

В ходе всестороннего анализа полученных данных постепенно пришло осознание и другого очень важного обстоятельства. Стало очевидным, что феномен специализации отдельной нервной клетки в отношении инструментального акта (а именно модель **инструментального по-**

ведения и использовалась во всех этих опытах) неизбежно предполагает наличие у такой клетки способности к оперантной детерминации своей индивидуальной активности. Другими словами, если какой-либо из нейронов действительно специализирован в отношении всего инструментального акта в целом, то он должен быть специализирован не только в отношении конкретных стадий реализации данного действия, но и в отношении самого принципа его формирования – принципа оперантной детерминации.

Обоснованность этого вывода в настоящее время также подтверждается результатами прямых микроэлектродных исследований [Бобровников Л., 1986, 1991; Stein L., Belluzzi J.D. 1988; Stein L., Xue B.G., Belluzzi J.D. 1994; Self D.W., Stein L., 1992]. Однако установленные факты не дают пока ответа на вопрос о конкретной взаимосвязи проявления способности отдельных нейронов к оперантной детерминации своей активности на индивидуальном и системном уровнях. Несомненный интерес в этом плане представляет попытка использования при рассмотрении этой проблемы современных методов компьютерного анализа.

LABVIEW ИНТЕРПРЕТАЦИЯ БАЗОВОЙ СУБЪЕДИНИЦЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Сформулированное П.К.Анохиным положение о результате поведенческого акта как факторе детерминации активности отдельных нервных клеток, на наш взгляд, требует определенного уточнения. В данном случае, конечно же, имеется в виду не прямое воздействие «результата» на процесс генерации отдельным нейроном одиночных потенциалов действия и/или их последовательностей. Такого рода влияние всегда опосредуется фактором групповой активности определенных нейронных ансамблей. Результат реализует свою детерминирующую функцию только через уровень групповой организации системообразующих элементов. Непосредственно влиять на каждый из них в отдельности он не может.

В этом же ключе следует понимать и утверждение В.Б.Швыркова о том, что *«каждый импульс каждого нейрона в целостном поведении оказывается детерминированным системными процессами всего поведенческого акта и, в итоге, субъективными образами окружающего мира»* [Швырков В.Б., 1978, 1979].

Действительно, по результатам современных микроэлектродных исследований выходит, что **в естественных условиях даже процесс генерации одиночного потенциала действия отдельной нервной клеткой всегда является ансамблевой функцией, а не функцией одного-единственного нейрона, у которого неожиданно вдруг приключился деполяризационный «сдвиг по фазе» уровня его трансмембранного потенциала.**

С этих позиций становится понятным почему, например, нервные клетки, вырванные из своего естественного нейронального окружения, перестают генерировать даже отдельные спайки, не говоря уже о развернутых во времени паттернах биоэлектрических разрядов [Греченко Т.В., 1982]. И эти, и многие другие данные определенно говорят о том, что существуют какие-то примитивные формы нейронной интеграции, обеспечивающие выдачу одиночными нейронами отдельных спайков. В результате, всё то, что мы наблюдаем в активности нервных клеток в естественных условиях, практически всегда становится отражением согласованной деятельности определённых нейрональных групп, а не отдельных их представителей.

Исчерпывающий ответ на вопрос о том, как именно это происходит, может дать рассмотрение следующей объектно-ориентированной модели.

Итак, предположим, что П.К.Анохин был прав и прав был В.Б.Швырков, утверждая, что существуют некие базовые простейшие микросистемы нейронов, которые взаимодействуют на достижение общего результата элементарного уровня. В итоге, процесс генерации даже одиночного потенциала действия в естественных условиях всегда яв-

ляется следствием ансамблевой формы организации системно специализированных клеток.

Что нужно сделать для того, чтобы построить объектно-ориентированную модель нейронной сети, элементы которой были бы способны работать в соответствии с этим общим правилом?

При решении поставленной задачи, на наш взгляд, нет смысла пытаться «с нуля» разрабатывать некую абстрактную математическую модель с заранее заданными параметрами. Значительно более продуктивным в данном случае может оказаться другой подход. А именно, стоит взять общепринятую в настоящее время модель формального нейрона по Питтсу-МакКаллоку [Мак-Каллок У., Питтс В. 2001] и попытаться произвести ряд минимальных её модификаций, приводящих к ожидаемому эффекту. В этом случае особенно наглядно проявится всё то, чем нейрональная системоспецифичность отличается от нейроноподобной формальности.

Как известно, в соответствии с предложенной в 1943 году схемой, адекватной моделью биологического прототипа нервной клетки следует считать следующую идеальную конструкцию, именуемую «формальный нейрон» (рис.22).

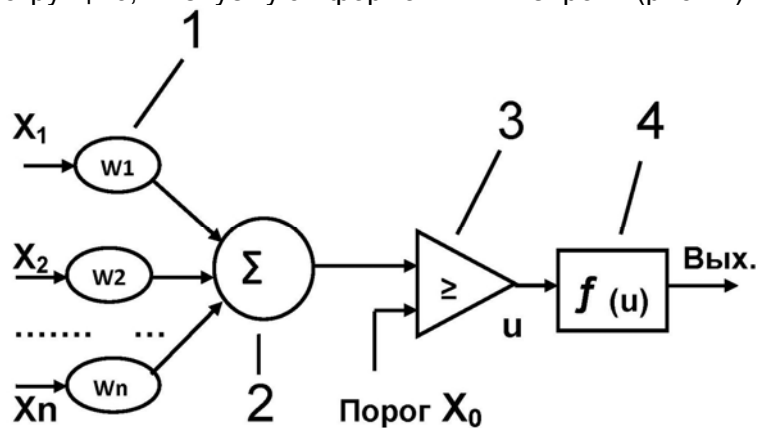


Рис.22. Классическая схема формального нейрона. Пояснение – в тексте.

Каждый нейрон обладает набором однонаправленных входных связей (синапсов), а также имеет выходную связь (аксон), через которую сигнал от него поступает на синапсы следующих нейронов или на вход исполнительных элементов (аналогов двигательных единиц). Синаптический вход умножается на определённый вес, соответствующий величине эффективности синапса, затем все произведения суммируются и подаются на один из входов компаратора, порог срабатывания которого определяется амплитудой управляющего сигнала, подаваемого на другой его вход.

Множество входных сигналов обозначены на рис.22 вектором X . Каждый вес W_i (1) соответствует эффективности одной синаптической связи. Выход сумматора 2 подключён к одному из входов компаратора 3, пороговые характеристики которого задаются сигналом X_0 , подаваемым на другой (управляющий) его вход. Преобразователь 4 определяет терминальные параметры процесса генерации нейроном потенциалов действия $[f(u)]$.

Недостатком рассмотренной выше схемы, как уже отмечалось, является неполнота моделирования биологического прототипа, а именно, отсутствие у модели формального нейрона ряда базовых функциональных свойств реальной системоспецифичной нервной клетки.

Особого внимания в этом плане заслуживают: стохастический (вероятностный) характер зависимости импульсной активности биологического нейрона от параметров поступающего к нему синаптического притока [Бернс Б., 1969], наличие функциональных обратных связей в центральных и периферических синапсах химического типа [Матюшкин Д.П., 1989]; существование внесинаптических механизмов генерации потенциалов действия [Соколов Е., 1975]; оперантная детерминированность процесса формирования таких эндогенных паттернов нейронной активности [Stein L., Belluzzi J.D. 1989]; системообразующая роль суммарного результата деятельности системы в детерминации функций отдельных её элементов [Анохин П.К., 1974].

Как показал проведённый нами анализ, системно ориентированная модификация модели Питтса и Мак-Каллока может быть достигнута за счёт того, что на вход порогового устройства (компаратора) подаётся сигнал не с выхода сумматора синаптических весов, а с выхода умножителя, осуществляющего функцию модуляции синаптического сигнала стохастическим потоком случайных чисел. Соответственно, на другой (управляющий) вход компаратора подаётся стробированный потенциалами действия нейрона сигнал с выхода второго (системного) сумматора, на N входов которого поступают потенциалы действия всех N нейронов сети.

В итоге, на выходе определённого подмножества всей группы сетевых нейронов формируется последовательность предрезультатных потенциалов действия, вероятность генерации каждого из которых зависит не только от параметров синаптического притока, но и от текущих показателей суммарной активности всей нейросети в целом [Бобровников Л.В., 2011].

Указанные технические результаты достигаются за счёт того, что в состав известного устройства [Питтс В., Мак-Каллок У., 1943], содержащего блоки изменения синаптических весов 1, сумматор 2, компаратор 3, преобразователь 4, генератор случайных чисел 5, вводят умножитель 6 и второй (системный) сумматор 9, на N входов которого поступают выходные сигналы N нейронов (поз.А), а выход сумматора через индивидуальный для каждого нейрона блок импульсного стробирования 7 и блок пролонгации 8 подключают к управляющему входу компаратора 3 (рис.23) [Бобровников Л.В., 2013] .

С целью повышение эффективности моделирования, а также максимально точного отражения в рамках предлагаемой модели основных признаков её биологического прототипа, предусмотрена возможность как избирательного, так и генерализованного синаптического воздействия на все нейроны сети.

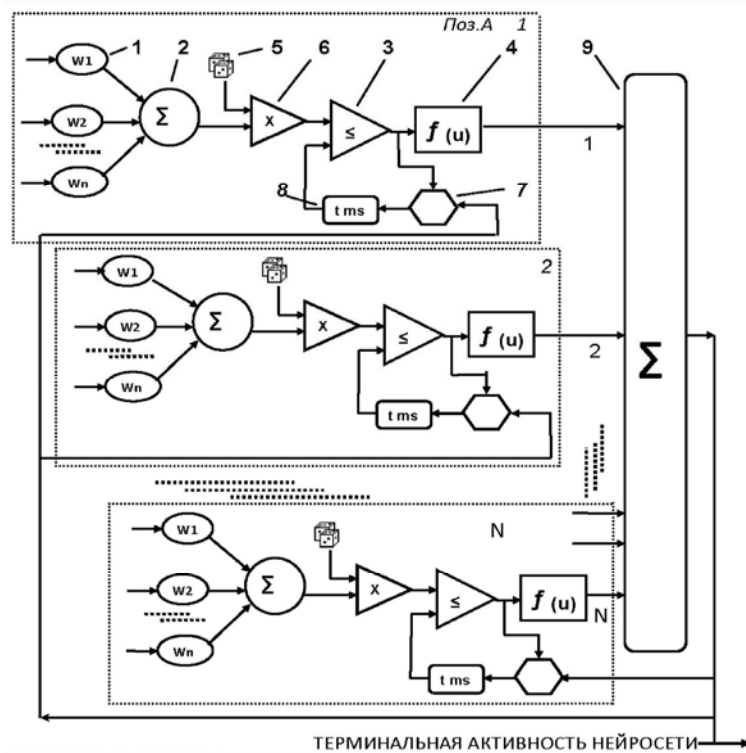


Рис.23. Схема, отражающая общий принцип организации элементарной микросети неформальных (системоспецифичных) нейронов. Пояснение – в тексте.

Полная блок-схема устройства для моделирования самоорганизующихся сетей неформальных нейронов в среде программирования LabView представлена на рис.24.

Схема включает в себя 4 основных сектора. Первый из них (фиг.24.1) объединяет двадцать неформальных нейронов 1, выходной сигнал каждого из которых поступает на вход центрального сумматора 2 через преобразователь 3. Второй сектор блок-схемы (фиг.24.2) представляет собой устройство формирования внешнего («синаптического»)

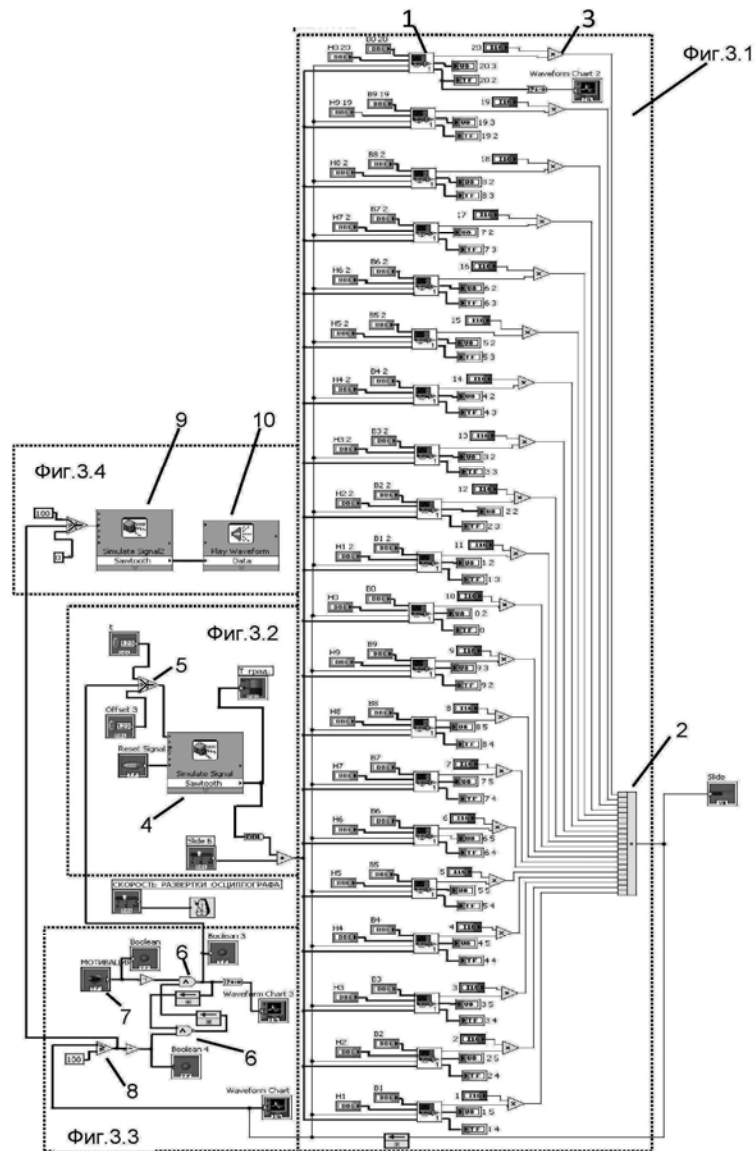


Рис.24. Алгоритм работы MODEL-04-013.
 Подробное пояснение – в тексте

сигнала управления вероятностью генерации нейроном потенциалов действия. Основным элементом здесь является «Simulate Sig» 4. Его работой через контур положительной обратной связи, идущей с выхода центрального сумматора 2, управляет виртуальный субприбор «Select» 5. Подача на его центральный (управляющий) вход сигнала логической единицы приводит к его отключению от нулевой точки (Offset 3) и коммутации с цифровым генератором постоянного уровня синаптического притока (t).

Функцией третьего сектора (фиг.24.3) является автоматическое выключение всей системы после достижения ею результата (т.е. после формирования на выходе центрального сумматора 2 определённого паттерна эфферентных импульсов). Основным функциональным элементом здесь является RS-триггер, собранный на двух Boolean элементах «Not And» 6. Запуск режима «готовность к работе» осуществляется Boolean-сигналом, идущим от включателя 7. Переход RS-триггера в альтернативное устойчивое состояние производится импульсом, поступающим с компаратора 8.

И, наконец, четвертый сектор (фиг.24.4) - это усилитель-формирователь звуковых сигналов, соответствующих выходным импульсам всей системы в целом и имитирующих тот характерный звук, который можно слышать в ходе проведения реальных нейрофизиологических опытов. Реализация этой функции осуществляется двумя встроенными в LabView субприборами: Simulate Sig 9 и Play Waveform 10.

Система работает следующим образом.

В каждой итерации каждым неформальным нейроном сети 1 (фиг.24.1), полная внутренняя схема которого представлена на рис.25, формируется одно случайное число и, соответственно производится одно действие сравнения этого числа с величиной управляющего сигнала.

Если случайное число оказывается меньше или равно ему, на выходе компаратора появляется короткий

логического блока 6. Суть его работы сводится к тому, что каждый нейрон сети каждым генерируемым им импульсом не только привносит свой микро вклад в общий суммарный выход системы, но и всякий раз стробирует («прозванивает») текущее состояние этого выхода. В результате, возникновение любой высокоамплитудной флуктуации регистрируется только теми элементами, импульсная активность которых и привела к ее формированию.

При определении режима обратной связи учитывались результаты экспериментов по оперантному обусловливанию разрядной деятельности отдельных нервных клеток [Fetz E.E., Baker M.A. 1973; Fetz E.E., 1977; Stein L., 1994, 1997; Stein L., Belluzzi J. 1988, 1989; . Stein L., Xue B.G., Belluzzi J.D. 1993; Self D.W., Stein L., 1992]. В рассматриваемом устройстве (рис.25) реализация принципа оперантной детерминации осуществлялась следующим образом. До момента достижения амплитуды выходного сигнала верхнего порогового значения 8 система работает в своем обычном режиме стохастической генерации. В случае любого превышения порога, собранный на двух элементах «Not And» RS-триггер 6 переводится потенциалом действия нейрона в альтернативное устойчивое состояние.

В результате на управляющем входе соответствующего компаратора, вместо непрерывно меняющегося сигнала суммарного выхода системы, пролонгируется («зависает») его пиковый уровень, который сохраняется до момента генерации нейроном очередного потенциала действия, но уже на низком уровне 7 сетевой активности. Одновременное развитие указанных процессов в разных каналах устройства приводит к тому, что образующие систему элементы переходят в режим кооперативной (согласованной) деятельности. На уровне входного звена нейросети это проявляется в форме возникновения особой функциональной обратной связи, в рамках которой импульсный выход неформальных нейронов начинает активно влиять на весовые параметры поступающих к ним сигналов.

Лицевая панель рассматриваемой vi-системы представлена на рис.26.

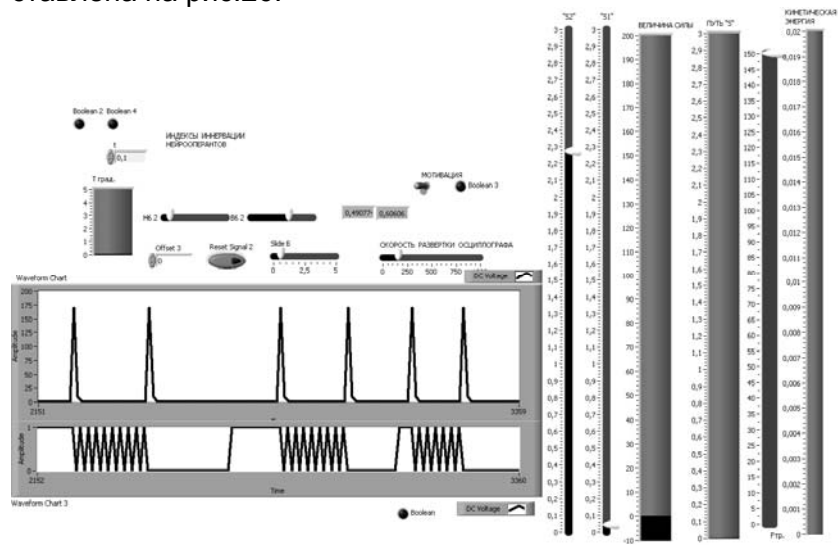


Рис.26. Лицевая панель MODEL-04-013.vi

Подробное описание работы данной системы и перспективы её использования для построения более сложных объектно-ориентированных моделей, открывающих возможность всестороннего математического исследования реальных нейрофизиологических процессов, было сделано ранее [Бобровников Л., 2011. С.30-54].

Сейчас же хотелось бы остановиться только на том ряде моментов, которые не получили достаточно полного освещения в предыдущей публикации. В тезисной форме их можно изложить следующим образом.

1. Процесс самоорганизации рассмотренной vi-системы, её неуправляемый никем и ничем переход в высокоорганизованное состояние всегда сопровождается самопроизвольным же расслоением изначально полностью равноправных системообразующих элементов. Именно в результате этого процесса и происходит образование ус-

тойчивой по компонентному составу совокупности согласованно работающих нейрооперантов, наделённых свойством системоспецифичности. Однако, и не входящим в эту группу единицам («молчащим нейронам»), как выяснилось, принадлежит очень важная роль в формировании терминальной активности нейросети. Попытка убрать их из блок-схемы (так сказать, «вырезать за ненадобностью») радикальным образом меняет свойства системы как целого. С этих позиций говорить о «нейрооперантах запаса» явно не приходится. Они хотя и «молчат», но на самом деле выполняют в нейросети системно значимую функцию.

2. Самопроизвольное возникновение в ряду равноправных системообразующих элементов лидера запуска автоорганизационных процессов – лидера, который в соответствии с концепцией Г.Хакена можно назвать «параметром порядка» [Haken H., 1997]. Именно такой лидер своими установками режима оперантной детерминации и определяет в дальнейшем свойства всей системы как целого.

3. В процессе своего функционирования модель-04-013.vi предстаёт окружающему её миру определённым, динамически формирующимся паттерном предрасположенностей к восприятию вполне конкретных внешних стимул-гештальтов. При этом не просто возникает некий набор склонных к активности элементов. Формируется ансамбль единиц, ориентированных именно на согласованное «ожидание» особого комплекса внешних раздражителей. Возникает феномен «структуры предрасположенности» к переходу в активное состояние. Если в рамках такой структуры некоторые из её составляющих и не получают релевантной им внешней стимуляции, они всё равно активируются в составе своей группы в случае активаций других её элементов. Последние выступают в роли эндогенных достраивателей неполного стимул-гештальта. Причём всё это реализуется в динамической форме, «ex tempo», а не в виде необратимо детерминированной прошлым опытом матрицы потенцированных (эффективных) синапсов.

Подобные паттерны ожиданий, на наш взгляд, и являются первичным субстратом аппарата акцептора результатов действия (АРД), который в дальнейшем вырастает в грандиозную сферу той самой загадочной нематериальной сущности, именуемой «психическая деятельность человека и животных». Т.о., истинным **субстратом психики является** динамически формирующийся в ходе построения функциональной системы **паттерн вероятностей** генерации её элементами потенциалов действия.

4. Особенность работы рассматриваемой системы состоит в том, что в результате перехода образующих её элементов в режим кооперативной (согласованной) деятельности, на уровне входного звена нейросети возникает особая функциональная обратная связь, в рамках которой импульсный выход нейронов начинает активно влиять на весовые параметры поступающих к ним сигналов.

Прим. При рассмотрении перечисленных выше закономерностей, нельзя забывать, что речь идёт об описании алгоритмов манипуляций с числами, которые могут быть соотнесены не только с событиями, происходящими внутри нейросетей, но и во многих других случаях. В частности, учитывая данные о наличии у нервной клетки не одного, а нескольких пейсмекеров [Александров Ю.И. и др. 2008. С.343], эти же алгоритмы вполне могут быть применены и для математического анализа процессов формирования разрядной активности одного-единственного нейрона.

Весьма интересные перспективы открываются здесь также в плане моделирования различных квантовомеханических явлений. В общем, не стоит забывать, что именно математика и создаваемые с её помощью модели в силу их априорной абстрагированности от какой-либо предметной конкретики автоматически привносят в любую науку наибольший заряд системного подхода, основная суть которого как раз и заключается в поиске универсальных закономерностей, общих для максимально широкого круга качественно различных явлений Природы и Общества.

ОТ СИСТЕМНО-ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ СПАЙКОВ К СИСТЕМНО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫМ ИХ ПАТТЕРНАМ

Одним из самых поразительных свойств *vi*-систем неформальных нейронов, как оказалось, является их способность к образованию сложных иерархически организованных комплексов с возникновением у последних целого ряда новых, весьма необычных качеств.

Особого внимания в этом плане заслуживает появление на свет систем, продуцирующих двигательную активность с конгруэнтной временной динамикой изменения всех основных её кинематических параметров. Это значит, что в отличие от рассмотренных в начале книги версий модели Н.А.Бернштейна, в ходе работы новых образований возникает реальная возможность, контролируя, например, величину мышечного усилия экстренно менять (корректировать) двигательную траекторию и безинерционно управлять динамикой изменения уровня кинетической энергии.

В качестве иллюстрации рассмотрим следующий пример. Итак, возьмём описанный в предыдущей главе прибор (рис.24) и переведём его в разряд подсистемы будущей более сложной *vi*-конструкции. Сделать это можно, выполнив три простых действия.

Первый шаг: активируем блок-диаграмму MODEL-04.*vi* и убираем на ней все несущественные детали. После этого, функцией главного меню «Select All» (из реестра “Edit”) выделяем все её элементы. И, наконец, в этой же самой опции (“Edit”) активируем функцию «Create SubVI». В результате, развёрнутая блок-схема MOLEL-04-013.*vi* превращается в маленький квадратик с двумя контактными точками вход-выход на нём.

Получив такую свёртку, построим путём её повторения набор, состоящий из двадцати одинаковых подсистем, которые впоследствии и образуют новый (супер) прибор (рис.27). Принципиальной его особенностью является то, что никаких прямых связей между элементами подсистем здесь нет. Их объединение друг с другом в новую интегра-

цию и контакты с возникшей таким образом суперсистемой осуществляются именно через общность иерархически организованных результатов разного уровня.

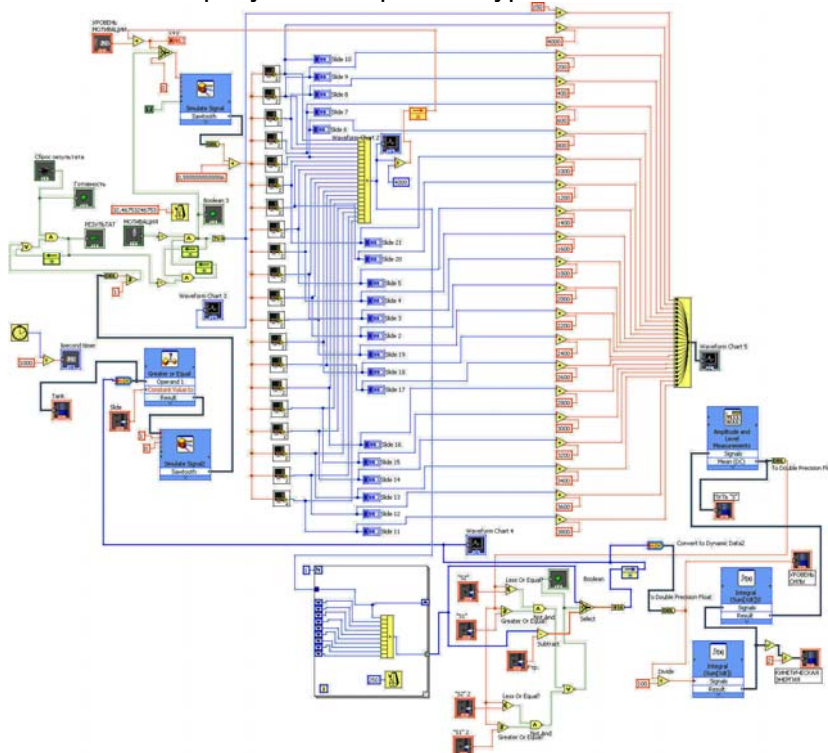


Рис.27. Блок-диаграмма MODEL-05-013-test.vi.
Пояснение – в тексте.

Control Panel

На лицевой панели (рис.28) находится регулятор 1 местоположения цели, а также индикатор 2 двигательной активности системы на пути к ней.

Помимо этого здесь также расположены:

3– числовой индикатор величины кинетической энергии системы;

- 4– аналогичный индикатор уровня силы мышечного напряжения;
- 5- кнопка запуска режима «МОТИВАЦИЯ»;
- 6- светодиодный индикатор этого режима;
- 7- переключатель «ГОТОВНОСТЬ». После достижения системой каждого очередного результата левой кнопкой мыши этот переключатель перекидывается сначала влево, а вторым щелчком – вправо для начала нового этапа работы;
- 8- светодиодный индикатор «Результат», включающийся в момент достижения результата;
- 9- цифровой регулятор, определяющий верхнюю границу участка, на котором действует сила трения;
- 10- цифровой регулятор, определяющий нижнюю границу участка, на котором действует сила трения;
- 11- индикатор, отражающий динамику движения рабочей точки системы (её «Х»-траекторию);
- 12- блок, состоящий из двадцати светодиодных индикаторов, отражающих процесс генерации отдельных потенциалов действия в соответствующих каналах системы;
- 13- регулятор, задающий величину силы трения на выделенном участке её действия;
- 14- сигнал на выходе центрального сумматора системы;
- 15- актограмма (сигнал на выходе интегратора по 10-ти последовательным итерациям устройства);
- 16- 20-ти канальный осциллограф, отражающий динамику импульсной активности всех без исключения системобразующих элементов;
- 17- отметка включения «мотивации» (отклонение кривой вверх) и выключения её в результате выполнения системой результативного действия (отклонение – вниз).

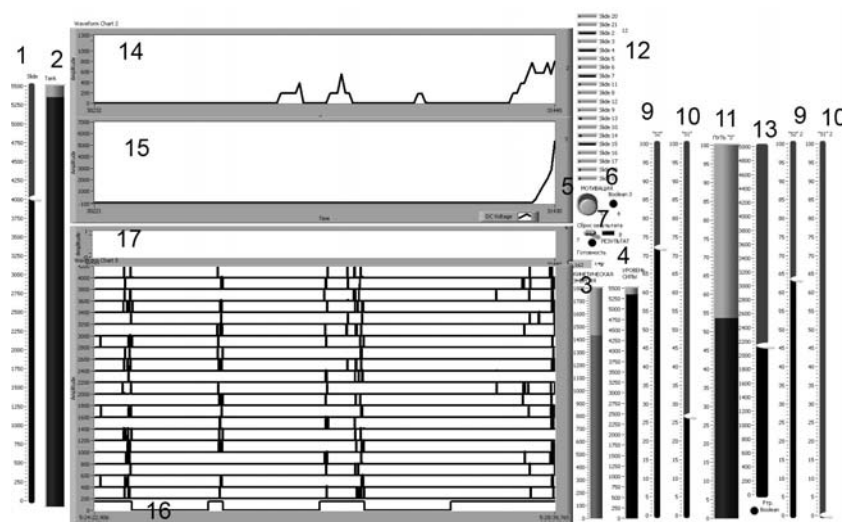


Рис.28. Лицевая панель модели «MODEL-05-013.vi».

Action

В отличие от MODEL-04-013, включение режима «мотивация» производится здесь не переключателем, а кнопкой 5. Её нужно 1-2 сек удерживать мышью в нажатом состоянии, пока не загорится светодиодный индикатор, который сигнализирует о начале нового этапа работы прибора.

Кроме того, здесь нет режима пониженного уровня мотивации, индикатором которого в предшествующей версии прибора был пилообразный сигнал, наблюдаемый на соответствующем канале осциллографа. Достижение результата в данном случае полностью устраняет фактор генерализованного воздействия на систему. По каналу звукового сопровождения идёт разрядная активность того самого нейрооперанта, который визуальнo наблюдается на первом канале осциллографа.

Последовательность манипуляций с двумя кнопками «управления» прибором и что из этого получается - пред-

ставлены на видео ролике Video-M5.avi. Рисунок 28 также неплохо, на наш взгляд, демонстрирует цепь событий, происходящих после активации устройства нажатием кнопки «5» (МОТИВАЦИЯ). А именно, после неопределённого по длительности латентного периода в отдельных каналах возникает импульсная форма активности. Характерной особенностью её, в отличие от функционирования MODEL-03-013, является чётко прослеживаемая тенденция элементов системы к переходу в строго согласованные режимы работы. Регистрируемые в разных каналах vi-модели потенциалы действия как бы обладают внутренним стремлением к синхронизации моментов генерации своих спайков, вызывая тем самым эффект резкого возрастания амплитуды терминальной активности всей системы в целом.

Детальный анализ работы аналогичной модели уже был проведён в одной из предыдущих публикаций [Бобровников Л., 2011. С.73-85]. Хотя вопрос о влиянии поля внешних сил и о рассмотрении динамики различных кинематических параметров там не стоял, все-таки для начала имеет смысл привести сделанные тогда **общие выводы**.

1. Процессы самоорганизации функциональных vi-систем всегда запускаются спонтанной низкоэнтропийной флуктуацией их внутреннего состояния и развиваются, по сути дела, абсолютно безконтрольно. Результат при этом не играет никакой «системообразующей» роли. Его функция - управление процессами самоорганизации путем их «гомеостатирования» на определённом, оптимальном для достижения этого результата уровне.

2. Предрезультатный характер работы системы. При попытке построения классических постстимульных гистограмм для определения параметров «реакции» системы на мотивационное воздействие, ничего не получится, поскольку вариативность латентного периода такой «реакции» достигает невероятно больших величин. По сути дела латентный период в данном случае оказывается индивидуальным для каждого поведенческого акта. Однако если по-

строить актограммы не от момента включения мотивации, а от момента её удовлетворения в результате целенаправленных действий системы, картина окажется совершенно иной. В этом случае, помимо предрезультатных актограмм, мы получим и классические предрезультатные растры и гистограммы импульсной активности нейрооперантов. В точности такие же, как у системоспецифичных нейронов мозга (рис.29).

3. Вариативность паттернов импульсной активности нейрооперантов. Характерной особенностью данной модели является то, что выход на точку синергетического резонанса её элементов происходит не как одномоментный акт, а как развёрнутый во времени процесс постепенного согласования работы тех компонентов, активность которых в будущем и приведёт к достижению результата. Обращает на себя внимание уникальность, неповторимость наблюдаемых при этом явлений. Функциональная система каждый раз как бы строится заново.

4. Наличие стабильных и нестабильных элементов одной и той же интеграции. При рассмотрении последовательных формирований vi-системы нельзя не заметить наличие в её составе группы элементов, не участвующих в данном процессе, точнее говоря, демонстрирующих разную склонность к вхождению в её состав.

В ходе дальнейших исследований был установлен также и целый **ряд новых, ранее не описанных закономерностей** функционирования подобных образований. Все они прямо или косвенно связаны с работой рассматриваемого устройства в режиме с изменяющейся по величине силой трения (рис.30).

Итак, **первый** из таких новых моментов заключается в том, что на любой стадии развития усилия (на любой высоте убегания курсора от стартовой позиции) система чувствует все предыдущие этапы развёртывания данного процесса. Это именно то особое уникальное свойство, которое

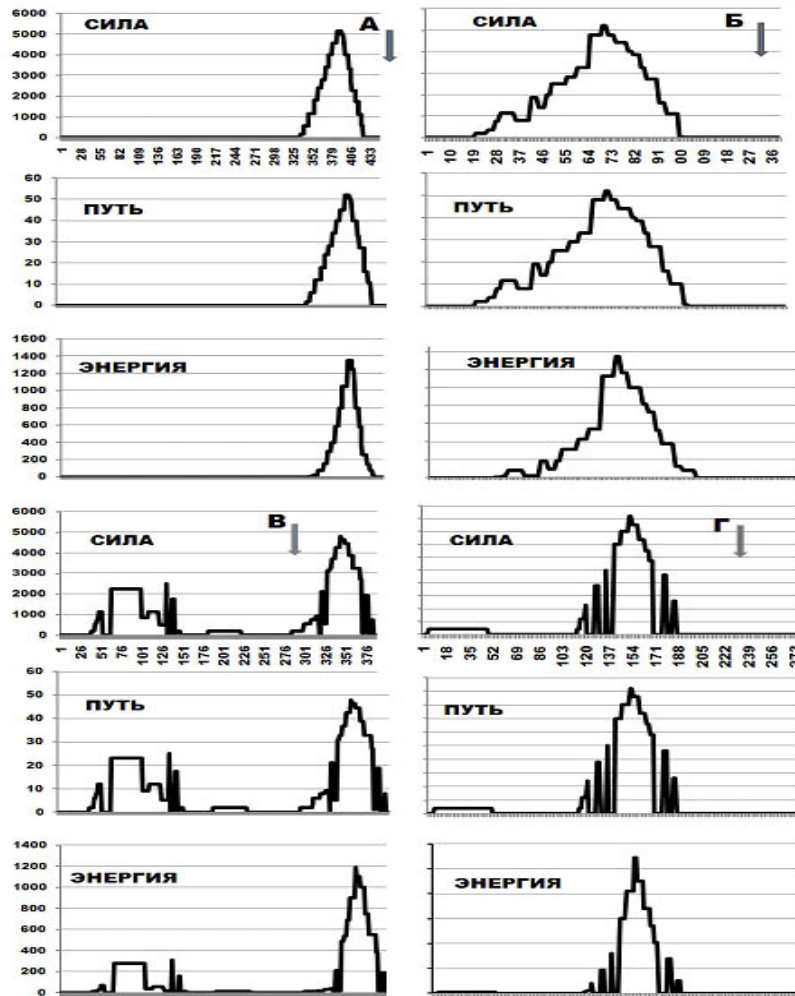


Рис.30. Конгруэнтность динамики изменения основных кинематических показателей MODEL-05-013 в процессе её реализации. 1.1-1.4 – сила мышечного напряжения; 2.1-2.4 – путь рабочей точки; 3.1-3.4 - величина кинетической энергии. Блок графиков «А»: $F_{тр}=0$. Блок «Б»: $F_{тр}=700$ усл.ед. Блок «В»: $F_{тр}=1500$ усл.ед. Блок «Г»: $F_{тр}=2200$ усл.ед. Интересно сравнить эти графики с рис.15 или рис.20.

есть только у подобных систем, и которого нет в классических биокibernетических моделях. Все функциональные v_i -системы в процессе своей активности обладают способностью продолжать непрерывное сканирование всей директории своего силового поля: продолжать отслеживать историю своей эволюции в сторону достижения результата. Как следствие, неожиданное изменение величины $F_{тр.}$ уже после прохождения «проблемного» участка пути $S(t)$, всё равно резко меняет поведение системы.

Рассматриваемые модели обладают естественным механизмом проприоцепции своих действий, не имея классического канала регистрации суммарного усилия, развиваемого всей системой.

Если обратиться к исходной модели генератора функциональных систем (палец-кнопка) (рис.9), в данном случае **нет датчика давления** - датчика, который по каналу обратной связи на основе классического принципа саморегуляции отключал бы командный сигнал, идущий от центра к исполнительному звену. Однако, несмотря на это, система обладает способностью давить на кнопку именно со строго определённым усилием.

Причём, такая система способна на подобные подвиги, даже если находится в составе многозвенной кинематической цепи, которая теоретически вообще не может быть управляемой со стороны каких бы то ни было командных центров.

Кроме того, данная модель в отличие от своего кибернетического аналога пребывает в постоянной готовности к переходу на любой другой режим работы, зависящий, в частности, от экстренного изменения текущих силовых характеристик других кинематических звеньев системы. Получается, что из центра задаются только общие параметры результата, а не программа активации различных исполнительных элементов. Центр в такие детали не вникает. Центр контролирует только результат.

Другой, не менее важный новый вывод, который вытекает из анализа работы MODEL-05-013.vi - это заключение о наличии уникального эндогенно детерминированного временного паттерна наращивания усилий в той или иной мышечной группе. Подача любого, в том числе прямоугольного (резкого, ступенчатого) «управляющего» сигнала приводит к особому, «плавному» развитию усилия в управляемой мышце. Никаких патологических рывков, спазмов инициировать у неё в принципе не возможно. Причём, «рисунки» (паттерн) такой плавности уникален для каждой мышечной группы. На наш взгляд, именно отсюда и проистекает феномен невоспроизводимости «подчерка» человека или неповторимость его походки.

И, наконец, **ещё один новый вывод** касается так называемого временного парадокса построения функциональных систем. Согласно теории П.К.Анохина, императивным системообразующим фактором всегда является полезный для организма приспособительный результат [Анохин П., 1971]. Но результат – это событие, которое может (или не может) появиться только в будущем. А процесс объединения определенного набора центрально-периферических элементов в единую согласованно работающую систему происходит в настоящий момент времени, т.е. задолго до появления системообразующего фактора. Налицо вполне очевидное противоречие.

Настойчиво предпринимаемые в последние десятилетия попытки разрешения этого парадокса ни к чему не привели. Каждая такая попытка, в конечном счёте, заканчивалась банальной подменой понятий. Вместо результата авторы альтернативных трактовок предлагали рассматривать «модель результата» [Александров Ю.И., Дружинин В.Н., 1998], цель действия [Швырков В.Б., 1982], мотивацию [Судаков К.В., 1984]. То есть, всё сводилось к поиску некой достойной замены реальному результату – поиску фактора, присутствующего на подготовительной стадии формирования функциональной системы и детерминирующего этот

процесс по сути дела в рамках всё той же, привычной для физиологов схемы «стимул-реакция», с единственной оговоркой: «организационный стимул → реакция перехода в организованное состояние». Наличие в поведенческом репертуаре нерезультативных («пробных») актов вроде бы свидетельствует в пользу такой интерпретации, ибо означает возможность развёртывания системных процессов и в отсутствии системообразующего влияния результата.

Рассмотренная выше LabView VI-модель, на наш взгляд, раскрывает совершенно иной вариант разрешения временного парадокса. Суть сводится к следующему.

П.К.Анохин был прав. **Императивным системообразующим фактором действительно является конечный результат** построения функциональной системы. Именно результат, а не извлекаемый из памяти его «информационный эквивалент». Но происходит это совершенно особым образом. Результат выступает не в качестве организатора комплекса взаимодействующих на его получение центрально-периферических компонентов. Инициация функциональной системы происходит вовсе не вследствие воздействия на «спящую» группу её потенциальных элементов некоего стимулирующего их организацию фактора (извлекаемая из памяти цель, программа действия, пусковой стимул, модель будущего результата, сам результат). Элементы будущей системы всю свою жизнь пребывают в состоянии постоянной готовности «скатываться» в низкоэнтропийные (высокоорганизованные) состояния. Для этого им не требуется никаких специальных орг-стимулов.

Данное свойство можно рассматривать как проявление своего рода аналога тропизма одноклеточных – тропизма деятельностной кооперации. Процесс этот инициируется с уровня исполнительных элементов, а будущий результат выступает в роли **фактора сдерживания безудержно разрастающегося «как снежный ком» процесса самоорганизации** - процесса, который несёт положитель-

ную для организма значимость, только оставаясь в строго определённых пределах. Превышение последних приводит к прямо противоположному эффекту: процессы самоорганизации начинают приобретать уродливую форму «спазма переорганизации». Вместо жизненно важного позитива, они уже становятся мощнейшим деструктивным фактором.

Другими словами, для успешного построения любой функциональной системы необходимо не просто развёртывание процессов самоорганизации её будущих элементов, а их самоорганизацию в строго определённой дозировке. Величину этой дозировки и определяет конечный приспособительный результат.

Таким образом, речь идёт о совершенно особой схеме причинной обусловленности – схеме, в рамках которой процессы организации запускаются «из прошлого», а детерминируются «из будущего», путём экстренного прерывания их дальнейшего развития и стабилизации на определённом уровне. Полезный приспособительный результат потому и становится императивным системообразующим фактором, что только он способен выступать в роли эффективного ингибитора механизмов самоорганизации.

Еще один очень важный аспект рассматриваемого круга вопросов. Острота временного парадокса по сути дела снимается в том случае, когда один и тот же результат начинает ограничивать безудержное разрастание **сразу нескольких** параллельно развёртывающихся процессов самоорганизации (ситуация одновременного формирования комплекса функциональных систем с единым мультипараметрическим результатом). Здесь уже результат приобретает новую функцию: это не просто ограничитель процессов самоорганизации, но и эффективный их согласователь в режиме “ex tempo”. В отношении комплекса функциональных систем он действительно становится фактором организации их совместной работы.

Наглядной иллюстрацией последнего утверждения может служить следующая vi-модель.

ЯВЛЕНИЕ МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ГОМЕОСТАЗА ПРОЦЕССОВ САМООРГАНИЗАЦИИ (MODEL-06-013.vi)

В ходе работы рассматриваемой системы происходит одновременное формирование двух функциональных систем с общим мультипараметрическим результатом. Соответственно, реализация системообразующей функции последнего осуществляется здесь через индивидуальное ограничение степеней свободы ряда независимых системных составляющих. Точнее говоря, речь идёт не об их ограничении, а о стабилизации на строго определённом уровне. Именно в таком ключе, на наш взгляд, и следует понимать положение П.К.Анохина об «ограничении числа степеней свободы» многокомпонентной системы в процессе её формирования [Анохин П.К., 1974].

В рамках комплекса взаимодействующих на достижение общего результата subsystems этот результат с полным основанием можно определить как фактор, сдерживающий лавинообразно развивающийся комплекс процессов, связанных с безудержным падением числа индивидуальных степеней свободы до минимума. Результат как фактор гомеостаза процессов самоорганизации системы, а не как стимул их инициации.

Система, о которой пойдёт сейчас речь позволяет объективизировать ещё один принципиально важный аспект явления синергетического резонанса, а именно, основополагающую роль в его возникновении механизма индивидуальной оперантной детерминации нейрооперантной активности. Не мотивация, которая весьма генерализованно воздействует на системообразующие элементы, а включение с помощью 2-х независимых регуляторов 5 (рис.31) на компонентном уровне механизма индивидуальной оперантной детерминации импульсной активности параметров порядка является решающим фактором достижения системой конечного результата.

Детали конкретной реализации этого общего принципа раскрывает блок-диаграмма ВП (рис.32).

Лицевая панель рассматриваемого устройства полностью представлена на рис.31.

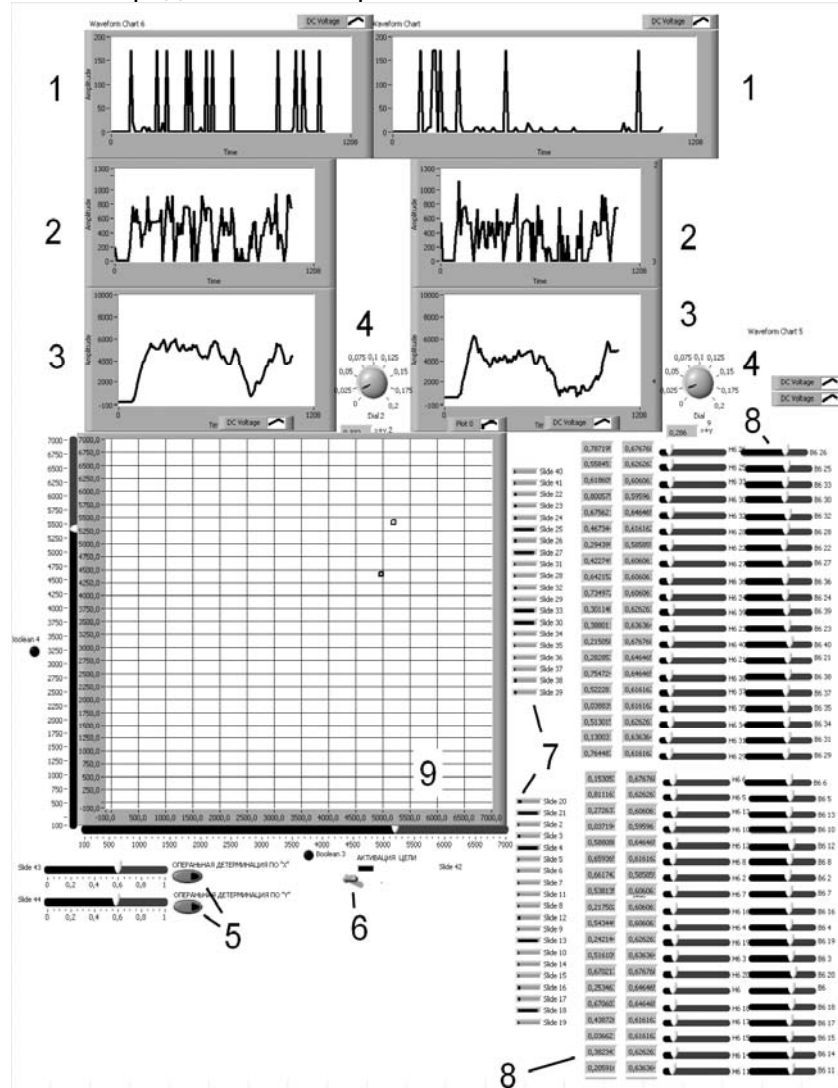


Рис.31. Front Panel MODEL-06-013.vi. Подробное пояснение – в тексте.

Здесь:

1 – импульсная активность одного из нейрооперантов. Немаловажный момент: в директориях X и Y процессы генерации потенциалов действия, как правило, не совпадают;

2 – суммарная активность системы непосредственно на выходе центрального сумматора;

3 – суммарная активность системы после её интегрирования по десяти последовательным итерациям;

4 – регуляторы «уровня мотивации системы» (можно осуществлять независимо по директории «X» и «Y»);

5 – регуляторы верхнего уровня режима оперантной детерминации **параметров порядка** одновременно во всех каналах и кнопки их включения-выключения;

6 – кнопка активации «цели» в рабочем поле системы

7 – световые индикаторы процесса генерации отдельных потенциалов действия в разных каналах устройства;

8 – регуляторы нижнего (слева) и верхнего (справа) уровней режима оперантной детерминации параметра порядка в каждом из каналов в отдельности;

9 – рабочее поле системы, на котором видны активированная цель (тёмный квадратик) и преследующий её курсор (светлый квадрат).

Action

Сразу после запуска системы из области главного меню LabVIEW можно наблюдать, как независимо от конкретного местоположения цели курсор начинает целенаправленно к ней двигаться. Любые попытки не допустить их сближения оказываются безрезультатными.

Неповторяемость последовательно выполняемых системой движений в сочетании с постоянством их целеустремленности очень напоминают «живое движение» известного летающе-кровососущего насекомого. На мой взгляд, рассматриваемая система неплохо объясняет, как

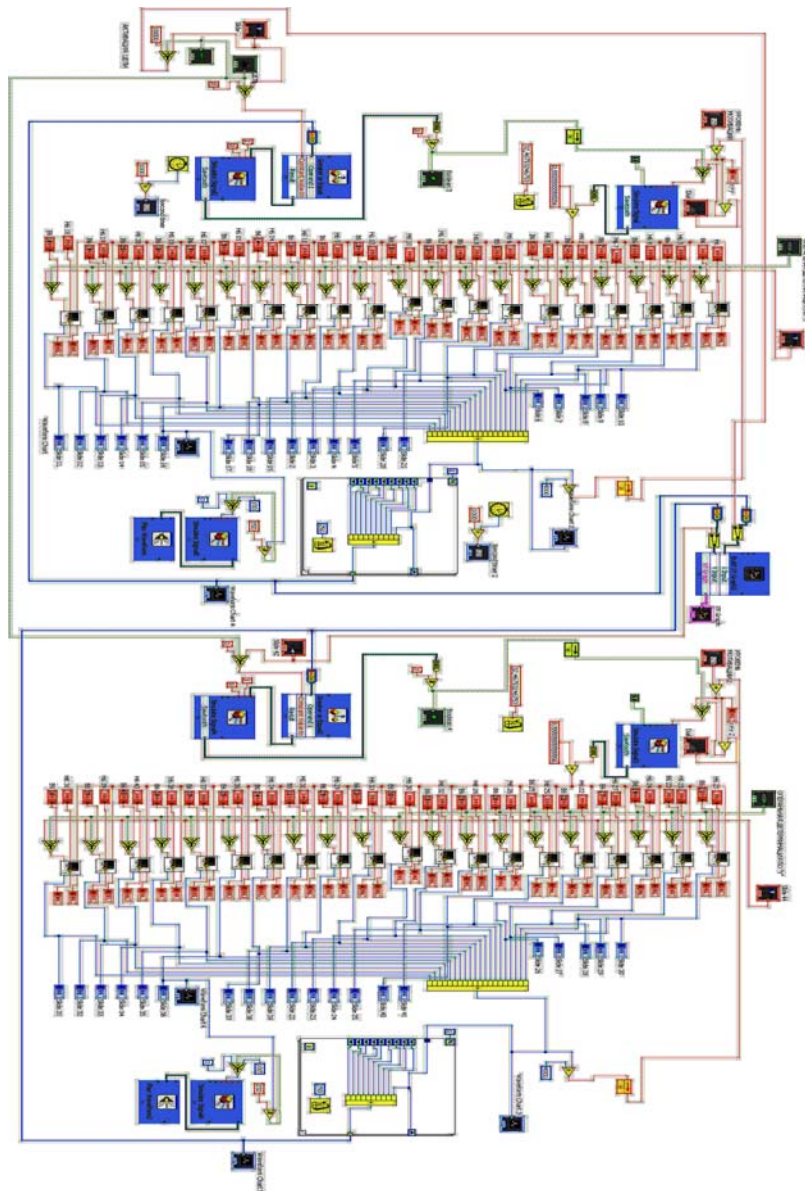


Рис. 32. Блок-диаграмма MODEL-06-013.vi

отсутствие весомого мозгового субстрата легко компенсируется эффективными принципами организации двигательной активности.

Действительно, вся эта навязчивая «комариноподобная» целенаправленность вырастает на базе всего лишь механизма гомеостаза процессов самоорганизации. Изначально есть группа системоспецифичных элементов, склонных к самосинхронизации своей импульсной активности. Достижение определённого уровня согласованности автоматически устраняет **один из** исходных факторов запуска процессов такого рода согласования (мотивацию).

Особенно наглядно указанный принцип проявляется в ходе работы **MODEL-07-013.vi**, которая является модификацией предыдущего виртуального прибора.

Блок-диаграмма нового устройства представлена на рис.33. Нетрудно заметить, что она почти полностью повторяет предыдущий вариант реализации двухмерной модели, но с той лишь разницей, что передвижение «цели» в рабочем поле осуществляется теперь уже непосредственно компьютерной мышью. Для этого был использован субВП из арсенала штатных приборов LabView **“Mouse Pos”**, расположенный в верхней части блок-диаграммы (рис.33) внутри автономного временного цикла While Loop.

В данном случае можно «собственноручно» в прямом смысле слова ощутить особенности поведения системы, элементы которой обладают способностью к самоорганизации и её гомеостатированием на определённом, оптимальном для получения общего результата уровне.

Видеоролик, иллюстрирующий работу этой системы, можно найти в директории VIDEO лазерного диска.

Прим. В **MODEL-07-013.vi** в отличие от предыдущего устройства применялся принцип гомеостатирования процессов самоорганизации именно по параметру «мотивации». Случай использования с аналогичной целью управления режимом оперантной детерминации параметров порядка здесь не рассматривался.

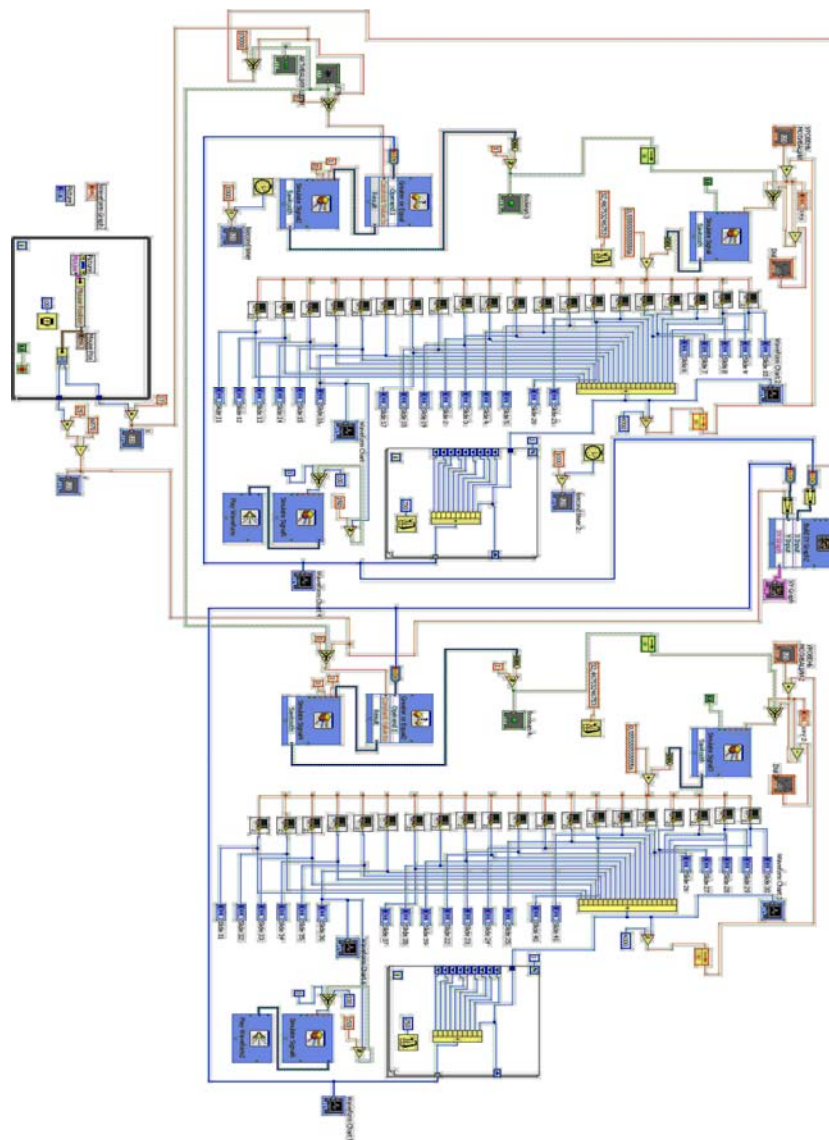


Рис.33. Блок-диаграмма MODEL-07-013.vi. Пояснение – в тексте.

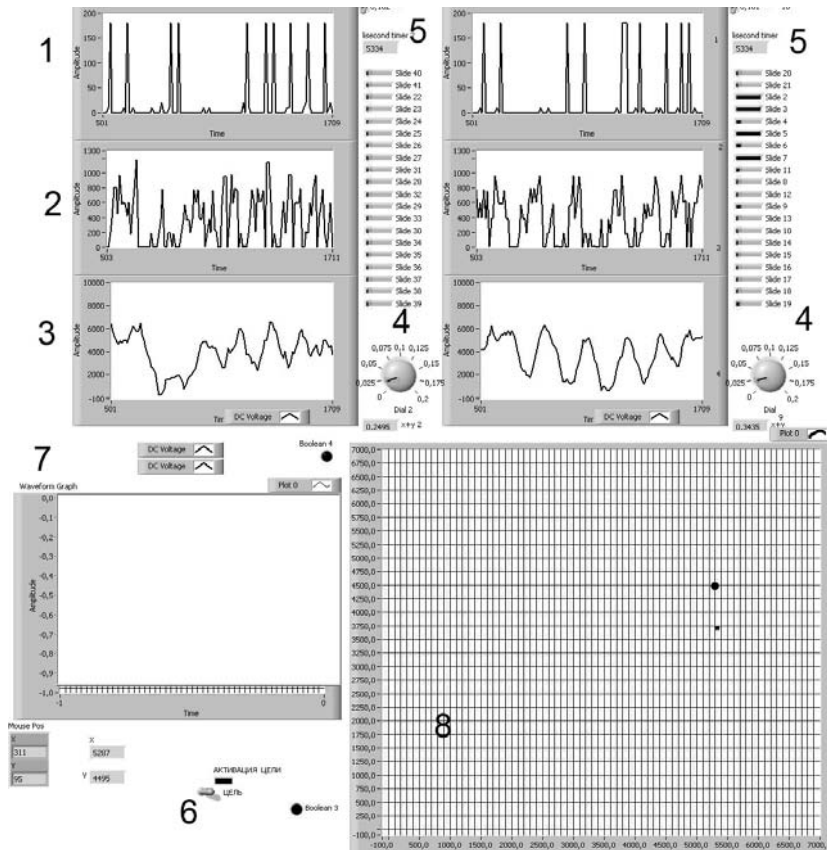


Рис.34. Front Panel MODEL-07-13.vi

Лицевая панель прибора (рис.34) содержит различные устройства отображения информации и кнопки управления.

1 – импульсная активность одного из нейрооперантов. В директориях «X» и «Y» моменты генерации потенциалов действия как правило не совпадают;

2 – суммарная активность системы непосредственно на выходе центрального сумматора;

3 – суммарная активность системы после её интегрирования по десяти последовательным итерациям;

4 – регуляторы «уровня мотивации системы» (можно осуществлять независимо по директории «Х» и «У»;

5 – световые индикаторы процесса генерации потенциалов действия в разных каналах устройства;

6 – включатель, позволяющий активировать цель в определенной точке рабочего поля. Её координаты выставляются «мышью» компьютера;

7 – экран первого осциллографа, на котором можно наблюдать текущее местоположение курсора мыши;

8 – экран осциллографа, на котором отображается местоположение цели и курсора системы (не путать с курсором компьютерной мыши!).

Обсуждение

Рассмотренная выше модель, как и предыдущая, может служить наглядной иллюстрацией того факта, что результат не является инициатором развёртывания процессов организации функциональной системы и, тем более, не является фактором активации её элементов. Такие элементы способны к взаимодействию и без влияния каких-либо организующих их начал. Результат при этом выступает исключительно как **фактор детерминации определённого уровня** устранения избыточного числа степеней свободы системы. Причём, детерминации не жёсткой, а допускающей сохранение определённых флуктуаций этого параметра относительно некоторого среднего значения даже на самом высоком уровне своей организации (гомеостатический принцип построения процессов самоорганизации).

В рамках этой же схемы, на наш взгляд, необходимо рассматривать и феномен возникновения опережающих форм отражения действительности. Модель будущего результата – не то, что хранится в памяти организма и извлекается из неё по мере надобности. Такая модель, как и сам результат, появляются на определенном этапе перехода от спонтанной низкоэнтропийной флуктуации в сторону всё более и более высоких уровней самоорганизации функцио-

нальной системы. Модель результата при этом выступает как аналог результата, но только в слегка недоорганизованной форме. Поэтому достижение процессами самоорганизации момента возникновения феномена «модели результата» лишь модифицирует, но не прекращает их развёртывание. Такой способностью располагает только сам результат. Именно **конечный результат полностью останавливает на определённом (оптимальном для своего достижения) уровне процесс безудержного падения числа степеней свободы всех системообразующих элементов – падения, запускаемого спонтанной низкоэнтропийной флуктуацией внутреннего состояния системы на фоне повышенного уровня её общей генерализованной активности.**

Утверждение это, на первый взгляд, звучит как малопривлекательное для уха европейца заклинание натрескавшегося галлюциногенов чукотского шамана. На самом деле здесь в концентрированной форме отражена основная суть происходящих внутри функциональной системы событий.

Действительно, к настоящему времени сложилась вроде бы очевидная, но на самом деле неверная точка зрения, что процесс организации элементов в систему это всегда полезная для организма вещь. Именно такого рода процессы обеспечивают его выживание в сложной внешней среде. На самом деле все хорошо только в меру. В действительности, необходимым условием получения любого результата является не процесс безудержной кооперации элементов в единую, согласованно работающую группу, а достижение этими элементами строго определённого (оптимального) уровня своей самоорганизации. Переорганизация системы столь же вредна для её эффективного функционирования, как и недоорганизация.

Другой, не менее важный момент касается механизмов целеполагания.

При рассмотрении закономерностей работы рассмотренной выше системы становится очевидным тот факт,

что возникновение феномена целенаправленности происходит не изначально, до появления активных действий системы, а на промежуточной стадии: между началом формирования согласованной деятельности системообразующих элементов и моментом достижения ими пика своей интеграции.

Одним словом, цель – не единица энграмм памяти, а продукт более или менее экстериоризованных действий. Цель - следствие не одновременности выхода на точку мультипараметрического гомеостаза процессов самоорганизации комплекса функциональных vi-систем. С этих позиций феномен согласованной (кооперативной) деятельности всегда является предтечей процесса целеформирования. Результативное поведение начинается вовсе не с момента «извлечения из памяти» цели предстоящего действия. Первичной всегда является безцелевая форма кооперативной двигательной активности, которая приобретает качество целенаправленности лишь на некоем промежуточном этапе своего продвижения к конечному результату.

Неодновременность выхода на точку мультипараметрического гомеостаза процессов самоорганизации комплекса систем и есть механизм формирования «модели будущего результата» задолго до момента его достижения.

Подводя итог всему вышесказанному, необходимо выделить следующий ряд наиболее важных моментов.

- Процессы жизнедеятельности любого организма представляют собой непрерывную последовательность (континуум) сменяющих друг друга функциональных систем. Даже безусловные рефлексy реализуются в форме строго согласованной активности определённых мышечных групп. Любые рефлексy как раз и являются выражением феномена предцелевой кооперативной деятельности системы на пути её продвижения к конечному результату. А организация последних может происходить только на основе принципа взаимодействия образующих эти исполнительные группы двигательных единиц.

- Функциональные системы разного уровня изоморфны друг другу в том плане, что биоатомами каждой из них являются элементарные центрально-периферические (Ц-П) образования. Теория П.К.Анохина – это теория, описывающая общие закономерности формирования и коллективного поведения именно таких Ц-П единиц. По набору же конкретных узловых механизмов функциональные системы могут существенным образом различаться.

- Императивным системообразующим фактором любой функциональной системы является конечный результат деятельности ее исполнительного звена. С этих позиций именно периферия «в лице» получаемого ею результата диктует всей системе, включая её центральное звено, основные правила поведения.

- Функциональные VI-системы в отличие от кибернетической классики легко справляются с бернштейновскими факторами дискоординации. Никаких проблем с экстренным формированием и реализацией механизма непрерывных сенсорных коррекций эффекторики у них уже нет.

- Системообразующая роль результата реализуется не через функцию запуска процессов интеграции элементарных центрально-периферических элементов в единое согласованно работающее целое.

Особенностью этих процессов является их способность к самоорганизации на основе принципа синергетического резонанса. Истинным стимулом развёртывания функциональной системы с этих позиций является спонтанная низкоэнтропийная флуктуация её внутреннего состояния - флуктуация, «подогреваемая снизу» генерализованным повышением общего уровня активности всех системообразующих элементов.

- Конечный или этапный результат реализуют свою детерминирующую функцию путём стабилизации процессов самоорганизации системы на определённом, оптимальном для своего достижения уровне.

Часть 3

НЕЙРОСИНЕРГЕТИКА ПЕРЦЕПТИВНЫХ ДЕЙСТВИЙ

Эмпирические данные, относящиеся к разным видам ощущений, свидетельствуют в пользу положения об исходной роли движения в пространственно-временной структуре сенсорных процессов (Веккер Л.М. Единая теория психических процессов).

«Процесс зрительного восприятия не сводится к пассивному отражению картин окружающей среды. В реализации любых когнитивных функций решающая роль принадлежит фактору двигательной активности реципиента».

Именно под таким девизом на протяжении многих десятилетий в Советском Союзе проводились исследования в области когнитивной психологии и психофизиологии сенсорных систем.

Главный вывод, который можно сделать по результатам выполненных в те годы работ, - заключение о «двигательно-активном» характере любых форм сенсорного взаимодействия субъекта с объектами окружающей его среды. С этих позиций **восприятие всегда следует рассматривать как особую разновидность активных действий, итогом которых является формирование субъективных образов объективного мира** [Гальперин П.Я., 1959; Ганзен В.А., Грановская Р.М., 1965; Гиневская Т.О., 1948; Гиппенрейтер Ю.Б., Уразаева В.А., 1963; Запорожец А.В., 1962; Зинченко В.П., 1958; Зинченко В.П., Ломов Б.Ф., 1960; Зинченко В.П., Ван Чжи-Цин, Тараканов В.В., 1962; Леонтьев А.Н., 1959; Ярбус А.Л., 1965 и мн. др.].

Но если это действительно так, то все те вопросы, которые рассматривались в предыдущих разделах настоящей монографии, в полной мере относятся и к проблеме организации когнитивных функций. В частности исключительно важное значение приобретает проблема безинерционности и точности реализации движений анализаторных

систем. Яркий пример тому – глазодвигательная функция.

Как известно, глаз человека и животных в отличие от цифровой видеокамеры или фотоаппарата обладает сильно выраженной неравномерностью чувствительности поля образующих его рецепторных клеток. Мы реально способны видеть лишь очень небольшой зоной своей сетчатки – так называемой областью жёлтого пятна или «фовеа». Поэтому процесс восприятия любого объекта всегда начинается не с формирования в зрительном поле определённой «картинки» воспринимаемого объекта (вне зоны фовеа это ровным счётом ничего не даёт), а с установочных движений глаз: с их нацеливания на соответствующий объект рассматривания.

Другими словами, в отличие от цифрового фотоаппарата, в зрительном анализаторе для того, чтобы увидеть определённый объект внешнего мира совершенно недостаточно только лишь «открыть глаза» и получить его проекцию в зрительном поле. Необходимо еще и «перегнать» это изображение в строго определённую область сетчатки. Не перемещённая туда проекция будет по-прежнему оставаться невидимой (будет восприниматься всего лишь как некая неясная тень движения «чего-то» на уровне зрительной периферии). Вот здесь-то и возникают хорошо известные трудности реализационного порядка. Как уже отмечалось, по схеме Н.А.Бернштейна решение данной задачи в принципе не возможно. Рассмотренные в первом разделе настоящей монографии объектно-ориентированные модели полностью подтверждают этот общий вывод.

А вот функциональные vi-системы, как выяснилось, без труда справляются с подобными проблемами. Более того, анализ их работы выводит на объяснение другого очень важного феномена: явления контекстной (полевой) формы восприятия. Становится возможным объяснение механизмов выделения объекта в зрительном поле.

Исключительно важным моментом здесь является то, что в процессе своего движения MODEL-05-013.vi и ей

подобные не только демонстрируют свою полную управляемость. Для любых таких систем, как выяснилось, характерна гештальтная форма реализации своих функций.

Кроме того, стоит ещё отметить, что такого рода полевое сканирование на самом деле не ограничивается только периодом целенаправленного движения (завершение переноса → прекращение сканирования). Особенность рассматриваемых систем состоит в том, что даже после достижения «цели», их активность не прекращается. Движение внутри достигнутой зоны продолжается. Значит, продолжается и непрерывный процесс выделения и оценки полевых признаков, которые, кстати говоря, могут со временем меняться в результате изменения внешней обстановки. Фиксация на объекте без непрерывного сканирования поля вокруг него здесь вообще не возможна.

Все вышеизложенное приводит к следующему принципиально важному выводу. **В результате реализации синергетического принципа построения двигательной функции, любой объект окружающей среды всегда воспринимается не изолированно, а только в контексте определенных полевых характеристик этой самой среды. Более того, первоначально он идентифицируется именно как некая структурно-полевая аномалия.**

Какая конкретно? Простая человеческая логика, основанная на знании законов Евклидовой геометрии, здесь не работает. Здесь главенствует совершенно иной принцип классификации-верификации структурных признаков.

Для того чтобы попытаться понять механизм подобного выделения, было решено провести ряд специальных объектно-ориентированных исследований. Однако для определения конкретного вида этих объектов, вначале необходимо вкратце остановиться на результатах проведённых в начале 1980-х годов специальных исследований нейрон-детекторов **зрительной** коры головного мозга в естественных условиях свободного поведения животных.

**АКТИВНОСТЬ НЕЙРОНОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СРЕДЫ**

**ПЕРВАЯ СЕРИЯ ОПЫТОВ: РАДИКАЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ
ОСНОВНЫХ УСЛОВИЙ ДОСТИЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТА**

Если, следуя представлениям П.К.Анохина, считать, что именно результату поведенческого акта принадлежит решающая роль в процессах формирования нейронной активности, можно предположить, что нарушение основных условий его достижения будет сопровождаться радикальными изменениями паттерна биоэлектрических разрядов системоспецифичных нейронов.

В том, что это не совсем так, мы убедились в ходе специальной серии микроэлектродных исследований, связанных с экстренным изменением параметризации этапных и конечных результатов инструментального пищедобывательного акта [Швыркова Н.А., Бобровников Л.В. 1979; Фадеев Ю.А., Бобровников Л.В., Волков В.Ф., Швыркова Н.А., 1982].

Методика

Опыты проводили на кроликах, обученных для получения пищи нажимать передними лапами на площадку специальной педали.

В экспериментальной камере, размером 70x80x50 см, слева и справа находились две одинаковые автоматические кормушки. Рядом с ними располагались разъёмы для подключения к ним специальной педали, местоположение которой можно было менять в ходе проведения опыта. Нажатие на педаль приводило к подаче порции пищи (3-5 г моркови или капусты) в одной из кормушек.

Перед началом экспериментов с регистрацией нейронной активности у животных в течение нескольких дней вырабатывали автоматизированное инструментальное поведение. При этом педаль всегда располагалась в левой части камеры, а эффективная кормушка - в правой. Критерием обученности служило наличие циклического пищедобывательного поведения, во время которого кролик за 20-

30 минут съедал 50-60 порций пищи.

Непосредственно перед началом микроэлектродных исследований обученных животных скальпировали, производили трепанацию кости черепа над областью предполагаемого введения микроэлектрода. Активность каждого нейрона регистрировали в ходе реализации 10-15 инструментальных пицедобывательных актов. Затем педаль переносили в гнездо рядом с правой кормушкой, а пищу подавали в левую автоматическую кормушку. При этом непрерывно продолжалась регистрация активности того же самого нейрона. В ходе исследования некоторых нейронов удавалось провести указанную смену до четырёх раз.

Для записи актограммы движений животного у него на голове укрепляли миниатюрную электро лампочку, а на боковых стенках экспериментальной камеры – фотоэлектрические пластины. По величине суммарной фотоЭДС на них можно было точно судить о местоположении животного в тот или иной момент времени.

Аналогичное устройство использовалось и для регистрации взятия кроликом пищи из кормушки. Нажатие на педаль отмечалось в виде короткого электрического импульса, возникавшего в момент замыкания микроконтакта, смонтированного в педали. Подробное описание поведения животного в опыте производилась с помощью портативного диктофона.

Вне пицедобывательного поведения активность нейронов сопоставлялась с расшифровкой речевого протокола и косвенными отметками, которыми служили: ровная линия на актограмме во время спокойного положения кролика, синусоидальные её колебания при груминге (чесании и вылизывании шерсти).

Для регистрации разрядной активности нейронов использовали стеклянные микроэлектроды, заполненные 3М раствором KCl. Нейрональную активность, актограмму, отметки опускания морды в кормушки и нажатия на педаль записывали с помощью магнитофона фирмы Брюль и Кьер

(Дания) и в дальнейшем воспроизводили на чернилопишущем приборе НТ-3705 с редуцией скорости в 10 раз.

Статистическая обработка полученных данных включала в себя анализ растров импульсации каждой зарегистрированной нервной клетки, построенных от различных моментов инструментального поведенческого акта. По результатам растрового анализа затем производилась оценка достоверности изменений частоты разрядов нервной клетки на соответствующем этапе поведения. При этом в качестве сравниваемых параметров брались показатели частоты разрядной деятельности нейрона в течение определённого периода (чаще всего, 1 сек) до выделенного на растре момента времени и после него. Достоверность различий оценивали по критерию Стьюдента (предельный уровень значимости $p < 0,05$).

Результаты актографического анализа

Поведение всех обученных животных носило стереотипный характер. Сразу же после помещения в экспериментальную камеру наблюдалось возникновение циклической инструментальной пищедобывательной деятельности. Как правило, сначала кролик подбегал к кормушке и, убедившись в отсутствии там пищи, направлялся в противоположную сторону клетки – к педали. Затем следовало нажатие на неё, возвращение к кормушке, поедание порции пищи, повторное движение к педали и т. д.

После выполнения 40-50 таких стереотипных инструментальных актов исходная пищедобывательная деятельность сменялась комфортным, территориальным, ориентировочно-исследовательским поведением, копрофагией. Затем, инструментальная пищедобывательная активность вновь возобновлялась на 10-15 мин., хотя носила теперь уже не столь регулярный характер, как ранее.

При первой смене местоположения педали и кормушки у кроликов наблюдалось появление ориентировочно-исследовательского поведения, в ходе реализации которо-

го они активно обследовали экспериментальную камеру. При этом резко возростала частота появлений так называемой "вертикальной активности" (вставание на задние лапы) [Швыркова Н.А., Бобровников Л.В., 1979].

Параллельно с этим имело место повышение интенсивности и других типов поведения, а именно: комфортного, территориального, копрофагии, груминга, и т.п., в ходе реализации которых кролик случайно наступал на педаль, запуская тем самым новую кормушку. После 4-8 таких случайных нажатий, у животных постепенно начинало формироваться уже более-менее устойчивое циклическое инструментальное поведение.

Однако, как показывают результаты актографического анализа, на этом этапе даже после очередного эффективного нажатия на педаль побежка к кормушке происходила не сразу, а с определенной задержкой во времени, в ходе которой очень часто наблюдались не пищедобывательные формы поведения. То же самое регистрировалось и в период после поедания пищи. Лишь постепенно в результате неоднократных повторных изменений местоположения педали и кормушки инструментальное поведение становилось сходным со своей изначальной формой.

В целом, формирование инструментального пищедобывательного поведения в новой ситуации повторяло этапы становления этого поведения в исходной ситуации. Т.е. начиналось оно с ориентировочно-исследовательской деятельности, чередующейся с другими типами целенаправленного поведения (комфортным, оборонительным, территориальным), и лишь после выполнения ряда случайных нажатий, пищедобывательное поведение постепенно из эпизодического трансформировалось в циклическое.

Более подробно детали проведения этих и других методически близких к ним опытов были рассмотрены в ряде предыдущих публикаций (ссылки на них см. в кн.: Бобровников Л., 2005 С.72-154).

Результаты микроэлектродных исследований

Из общего числа нервных клеток, которые удалось зарегистрировать не менее чем при 2 сменах расположения педали и кормушки, активность 41% нейронов коррелировала с побежками животного. Все без исключения нейроны этой группы после реорганизации среды сохраняли свою исходную поведенческую специализацию (рис.35).

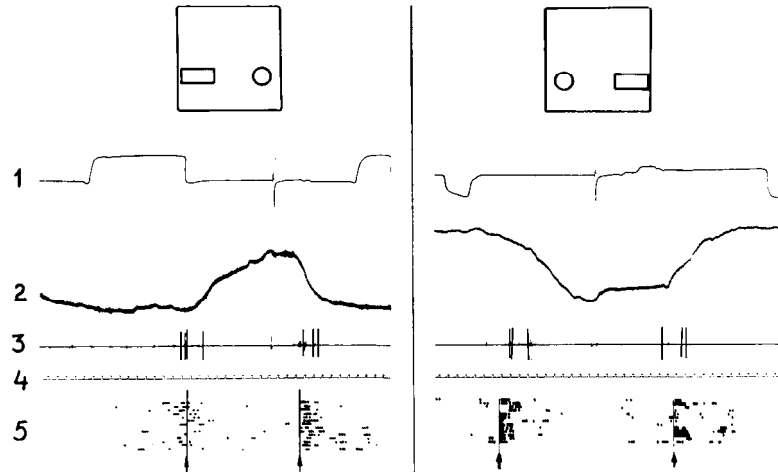


Рис.35. Неизменность корреляции нейронной активности с началом движения животного к педали и кормушке до и после изменения их взаиморасположения. 1- отметки взятия пищи: смещение линии вверх - из левой, вниз - из правой кормушки; вертикальная короткая линия - нажатие на педаль; 2- актограмма; 3- нейронограмма; 4- отметка времени 100 мс; 5- растры нейронной активности, построенные от моментов начала побежек к педали и кормушке. Прямоугольником на верхней схеме условно обозначено местоположение педали в камере; кружком – кормушки.

Однако при этом паттерн их импульсации претерпевал определённые структурные изменения. Фазные активации, в частности, фрагментировались, если побежка животного прерывалась остановкой или по каким-то причинам возрастала её длительность.

19% нейронов, характерная фазная импульсация которых наблюдалась в период поведения животного у педали или у кормушки, после смены расположения этих объектов сохраняли корреляцию с теми же движениями, что и до перемещения педали и кормушки. Причём, в новой ситуации такие активации, как правило, приобретали большую выраженность.

Так, на рис.36 представлен нейрон, в импульсной активности которого можно было наблюдать резкое возрастание интенсивности биоэлектрических разрядов всякий раз в период взятия животным пищи из кормушки. Обращает на себя внимание, что указанная форма специализации данной нервной клетки сохранялась в своем неизменном виде на протяжении нескольких часов во время реализации многих десятков стереотипных инструментальных пищедобывательных действий и неоднократно производимых изменений местоположения педали и кормушки. Однако в последнем случае при сохранении исходной формы функциональной взаимосвязи данного нейрона с поведением менялась средняя частота его биоэлектрических разрядов.

Данный пример, на наш взгляд, может служить хорошей иллюстрацией общего правила, которое отражает следующая формулировка. **В целом, по результатам проведенных в рамках этой серии экспериментов можно сделать общий вывод о том, что пространственные изменения среды, которые для получения приспособительного результата предполагают значительные перестройки целенаправленных действий животного, в новых условиях не меняют соотношения нейрональной активности и поведения. Связь фазных нейроактиваций с определёнными движениями подопытного жи-**

вотного остаётся неизменной.

Стоит также отметить и тот факт, что 40% нейронов, в активности которых нам вообще не удалось выявить связи их разрядной деятельности с какими-либо действиями животного, не приобрели такой корреляции и после смены мест педали и кормушки.

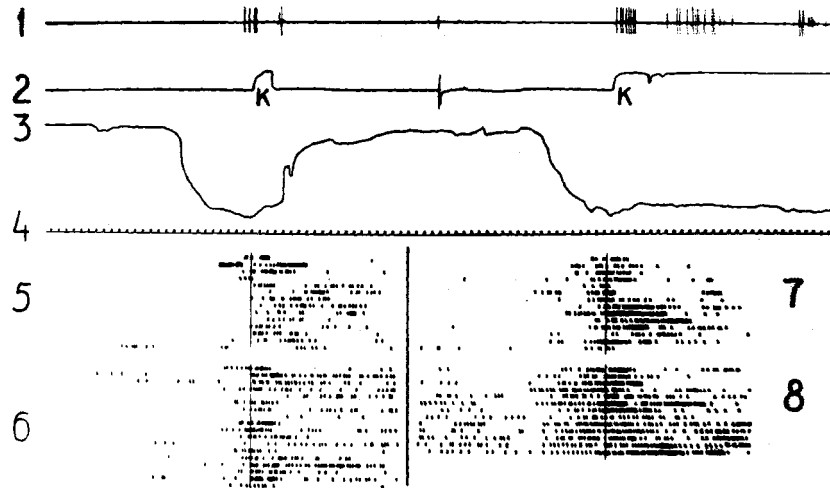


Рис.36. Сохранение характерного паттерна разрядной активности нервной клетки в условиях многократной смены месторасположения педали и кормушки. Обращает на себя внимание разная степень выраженности (как и на рис.35) фазных нейронных активаций в сравниваемых случаях. 1- нейронограмма; 2 - отметки взятия пищи из кормушек (см. подпись к рис.35); 3- актограмма перемещений животного по камере; 4- отметка времени 100 мс; 5- растры нейронной активности, построенные от момента опускания кроликом морды в кормушку.

Прим. Так получилось, что ни в одной из публикаций, сделанных по результатам рассмотренных выше экспериментальных работ, нет упоминаний о том, что сразу после изменения местоположения педаль-кормушка периоду активного переучивания подопытных животных всегда предшествовал особый поведенческий феномен. Речь идёт о появлении большого числа нерезультативных действий, выполняемых по старой, ставшей уже не эффективной схеме.

С этим мы столкнулись при проведении уже самых первых опытов. Оказалось, что перенос педали, также как и простое её удаление из камеры приводит к тому, что кролик (в отличие от человека-оператора) этого просто не замечает! Он, как и раньше, подбегает к местоположению «инструмента», осуществляет «нажатие» (ни на что!), после чего стремглав бежит к кормушке (пустой). И всё это продолжается десятки раз!

Отсюда можно сделать вывод, что никакого предметного инструментального в прямом смысле слова поведения у наших подопытных животных на самом деле изначально не было. Кролик, как и бесчисленное количество крыс, кошек, собак, дельфинов, голубей Скиннера и прочих инструментально продвинутых животных, в действительности обучается выполнению неких ритуальных телодвижений в определенном месте окружающего его пространства. Не более того!

Как позднее выяснилось, определённый налёт предметности («понимание» того, что кроме местоположения, у инструмента есть ещё и целый ряд других, не менее важных признаков) приходит к животному лишь в случае радикального усложнения стоящей перед ним задачи. Например, при выработке сложного пищедобывательно-оборонительного поведения или при многократном изменении местоположения педали и кормушки ещё на стадии обучения [Бобровников Л.В., 1982]. Но до такого уровня детализации никто из экспериментаторов, как правило, не доходит. Поэтому при рассмотрении нейрофизиологических данных необходимо учитывать, что речь здесь почти всегда идет о **непредметном** инструментальном поведении, о манипулировании не более чем «локусом» внешней среды.

**ВТОРАЯ СЕРИЯ ОПЫТОВ:
ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗРИТЕЛЬНОГО ПОЛЯ**

Вышесказанное имеет самое прямое отношение и к другой, выполненной в те же годы, серии экспериментов. Имеются в виду опыты по изучению нейронной активности в ходе выполнения подопытным животным (кроликом) инструментальных пищедобывательных действий в условиях контролируемых изменений среды, не влияющих на возможность достижения результата [Швыркова Н.А., 1980]. С этой целью на передней стенке экспериментальной камеры между педалью и кормушкой был установлен экран (25x25 см) с нанесёнными на него чередующимися черно - белыми полосами шириной 2 см. Поворот экрана на 90⁰ приводил к тому, что ориентация полос изменялась с изначально горизонтальной на вертикальную и, наоборот. Такого рода изменения осуществлялись после выполнения подопытным животным 10-15 инструментальных действий.

Важно подчеркнуть, что ориентация полос на экране никак не влияла на возможность достижения результатов поведенческих актов нажатия на педаль и получения пищи в кормушке. Другими словами, экран можно рассматривать всего лишь как рядовой компонент обстановки окружающей среды, в которой осуществлялось инструментальное пищедобывательное поведение.

С этих позиций нет ничего удивительного в том, что указанное изменение деталей обстановочной афферентации не вызывало явных перестроек поведения: кролик продолжал совершать побежки к педали, нажатия на неё, побежки к кормушке, поедание корма. Тем не менее, анализ усреднённых **актограмм (!)** движений животных в опыте выявил различия в осуществлении побегов при разной ориентации полос. Это значит, что способ выполнения действия на самом деле конститутивно зависит от некоторых абсолютно индифферентных деталей окружающей среды.

При этом не наблюдается развития процессов привыкания. Характерный, специфический рисунок актограммы

демонстрирует поразительную стабильность.

Аналогичные очень устойчивые во времени перестройки наблюдались при этом и в разрядной деятельности отдельных нейронов зрительной области коры мозга. Так, у 32 из 40 исследованных нервных клеток был установлен **факт стабильной организации паттерна** разрядной активности до и после указанных изменений зрительной обстановки (рис.37). Из них 18 нейронов демонстрировали фазные активации только при одной ориентации полос. При другой ориентации – какие-либо направленные изменения их активности вообще отсутствовали. У 14 клеток при смене ориентации полос перестраивался паттерн разрядов, т.е. появлялись группировки импульсов, менялась их выраженность или длительность активации.

Не вдаваясь в иные подробности этой серии экспериментов, можно привести следующий ряд наиболее важных общих результатов, полученных в ходе их проведения. А именно:

- Активность нейронов зрительной области коры как ведущей мозговой структуры зрительного анализатора организма связана именно с **движениями подопытного животного**, а не с сенсорными стимулами. Последние оказывают лишь модулирующее влияние на паттерн биоэлектрических разрядов отдельных нервных клеток.

- Разные аспекты средовой организации характеризуются разным «весом» такого рода влияний. Наиболее важным в этом плане оказывается фактор зрительной организации сенсорного поля – параметр, абсолютно индифферентный в отношении условий достижения этапного или конечного результатов.

- Анализ полученных данных приводит к парадоксальному выводу о том, что изменения импульсации зрительных нейронов в большей мере зависят от деталей двигательной активности и связанной с ней выявлением пространственной организации среды, чем от перемещения в ней биологически значимых целостных объектов.

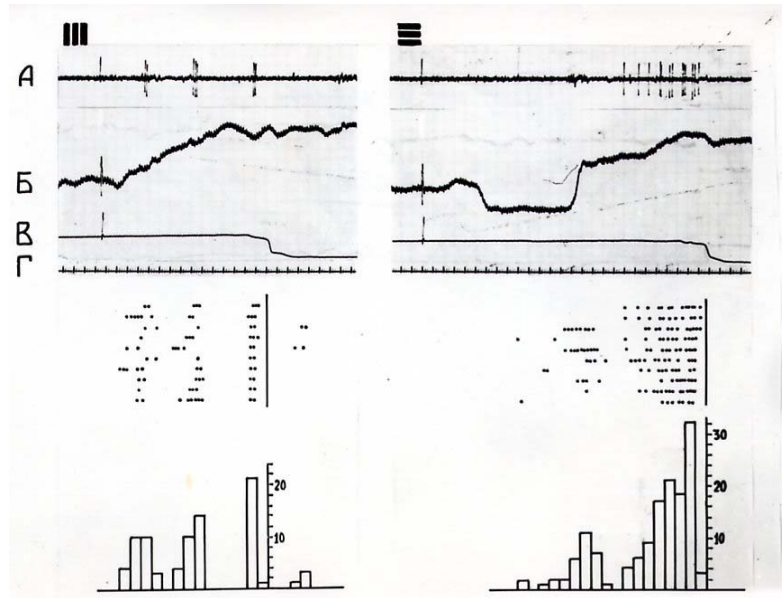


Рис.37. «Изменение паттерна активности зрительного нейрона в акте подхода к кормушке при смене ориентации полос на экране. При вертикальной ориентации полос (слева) нейрон дает три короткие пачки импульсов перед опусканием морды в кормушку; при горизонтальной (справа) – активацию длительно-стью от 300 до 700 мсек. А – импульсная активность нейрона; Б – актограмма движения животного по клетке: верхний уровень кривой – кролик у кормушки, нижний – у педали; вертикальная линия на актограмме в нижнем положении – отметка вспышки света, синхронизированной с нажатием на педаль; В – отметка опускания морды кролика в кормушку (смещение кривой вниз); Г – время (100 мсек). Ниже представлены растры и гистограммы (ширина канала 100 мсек) активности нейрона в 10 последовательных актах, построенные от момента опускания морды в кормушку» [Швыркова Н.А., 1980. С.537].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рассмотренные выше данные были получены и опубликованы более 30-ти лет назад. С тех пор в области нейронаук произошли огромные изменения, которые затронули практически все сферы проводимых в данном направлении исследований. Однако, несмотря на это, даже сегодня вряд ли кто-нибудь из современных нейрофизиологов сможет дать вразумительное объяснение этим, полученным много десятилетий назад результатам.

Действительно, если, следуя общепринятой сегодня логике, «активации зрительных нейронов рассматривать как «реакции» на детали обстановки, то остается совершенно непонятным, почему активность зрительных нейронов не меняется при перемене пространственного расположения педали и кормушки, когда происходит значительная перестройка позы и движений животного, что, несомненно, приводит и к изменению соотношения «окружающая среда – сетчатка» [Н.А.Швыркова. 1980. С.180].

Не менее труднообъяснимым выглядит и факт возникновения необратимых изменений в акто- и нейрограммах при изменении ориентации полос, нанесённых на одном из рядовых предметов обстановки опыта. Выходит, существуют некие особые классы индифферентных раздражителей, которые никак не подпадают под действие глобального закона привыкания (габитуации) всего живого к любым биологически незначимым внешним стимулам?!

Ключ к ответу на этот вопрос, на наш взгляд, заключается в следующем. Ориентация полос на рисунке это, на самом деле, совершенно особый, исключительный, а не рядовой компонент обстановочной афферентации. Изменение местоположения лабораторных часов на столе или лампы в комнате подобного эффекта никогда бы не произвели. В данном случае экспериментатор хотя и интуитивно, но безошибочно выбрал важнейший показатель «полевых» характеристик, от которых выстраивается вся система восприятия подопытным животным ведущих параметров струк-

туры внешней среды, в которой происходит реализация его приспособительной деятельности.

Как же именно обстановочная афферентация, точнее говоря, некоторые её структурно-полевые компоненты, приобретают такого рода неординарные функции? Какими характерными качествами они должны для этого обладать?

К настоящему времени в психофизиологии сложились два принципиально разных варианта ответа на этот вопрос. Первый из них с полным основанием можно назвать классическим. Начало его разработки приходится ещё на времена Рене Декарта. Считается, что именно он первым увидел и описал перевёрнутое изображение природного ландшафта, спроецированное на заднюю стенку препарированного глаза быка, и сделал из этого ряд далеко идущих в область технического моделирования выводов.

Установленное позднее сходство этого явления (рис.38) с тем, что происходит в различных оптических и электронно-оптических приборах (микроскопах, телескопах, фотокамерах, сканерах и т. п.) неизбежно наталкивает на мысль о возможности распространения указанной аналогии и на более высокие уровни организации работы зрительно-анализаторных систем: технических и биологических.

В известной монографии П.Линдсей и Д.Нормана это описывается следующим образом. *«Мы выявили ряд общих принципов, на которых основаны процессы восприятия. По-видимому, анализ сенсорной информации происходит очень постепенно, и на каждой ступени производится преобразование информации, поступившей от предыдущей ступени. «Вычисления» выполняются в местах перерывов сенсорного пути — в цепи «релейных станций», через которые проходит импульс на пути от глаза к центральной нервной системе. При каждом преобразовании из сенсорной информации извлекаются новые сведения. Иногда только уточняется информация, полученная на предыдущих этапах. Так, на первом уровне коры детекторы линии нечувствительны к длине линии, но на*

последующих уровнях они обладают большей избирательностью и реагируют только на линии определенной длины. Иногда удается извлечь более абстрактный признак, комбинируя ответы специфических детекторов предшествующего уровня. Второй уровень корковой переработки гораздо менее чувствителен к точному местоположению линии, чем первый».

«В принципе мы можем продолжать в том же духе и построить еще более сложные детекторы, пригодные для распознавания бабушек, автомобилей или домов» [Линдсей П., Норман Д. Переработка информации у человека. 1974. С.125].

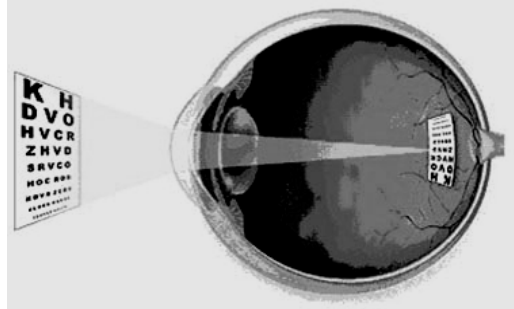


Рис.38. Классический механизм формирования изображения на сетчатке глаза.

Правомерность такого подхода подтверждается результатами множества выполненных за последние годы психологических и физиологических исследований. В ходе их проведения, в частности, были выявлены группы нейронов мозга, избирательно реагирующих на ориентацию геометрических фигур в поле зрения, кривизну их контура, цвет, движение и, предположительно, полевые параметры.

Кроме того, было доказано, что различные зрительные иллюзии, эффекты адаптации и аккомодации, специфические изменения времени реакции, возникающей на зрительные стимулы, могут быть легко объяснены в терминах активности такого рода нейродетекторных структур.

Однако, наряду с этим, было установлено и то, что многие другие аспекты процесса зрительного восприятия объяснить с помощью моделей рассматриваемого типа практически не возможно.

Особенно серьёзные проблемы возникают в связи с осмысленностью, связностью, достоверностью и избирательностью процесса зрительной перцепции. До сих пор остаётся не ясным, почему разные люди замечают различные аспекты одной и той же внешней ситуации? Почему какие-то определённые её фрагменты воспринимаются как элементы, принадлежащие одному и тому же объекту, а другие - нет? Почему люди совершенно разного возраста и уровня интеллектуального развития воспринимают именно значение происходящих вокруг них событий - значение, а не внешние, легко детектируемые локальные признаки сетчатых изображений? Почему младенцы, как выяснилось, с самого начала воспринимают именно предметы, а не отдельные характерные их детали? Наконец, как осуществляется интеграция информационных посылок, получаемых во время последовательных зрительных фиксаций на сетчатке изображения одного и того же объекта?

Следуя логике вышесказанного, приходится признать, что восприятие — это нечто большее, чем образование ретинальных проекций с последующим анализом различных их признаков. В любом первичном перцепте уже изначально закладывается значительно больше «обобщенного смысла», нежели рецепторной конкретики.

Однако ответа на вопрос о том, как именно это происходит – до сих пор нет. Есть лишь понимание того, что **«существует фундаментальная, практически неизученная организующая тенденция воспринимать глобальные, когерентные характеристики физического мира на основе взаимного расположения, местоположения и взаимодействия образующих его объектов»** [Шиффман Х.Р. Ощущение и восприятие. 5-е издание. Санкт-Петербург. 2003. С.337-338].

**ДВИГАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ КАК ДЕТЕКТОР
СТРУКТУРНО-ПОЛЕВЫХ ПРИЗНАКОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ
(MODEL-08-013.vi)**

Говоря о гипотетическом механизме восприятия «когерентных характеристик физического мира», нельзя обойти вниманием ранее уже упоминавшуюся уникальную способность функциональных vi-систем в процессе их формирования осуществлять непрерывное сканирование всей директории своего силового поля: воспринимать его как некий единый сенсо-моторный гештальт (см. стр.71 монографии). А, учитывая свойство конгруэнтности изменения различных кинематических показателей подобных образований (рис.30), есть все основания предполагать возможность проявления аналогичной способности и в форме восприятия когерентных параметров внешней среды, в которой осуществляется деятельностная реализация системы.

Понятно, что рассмотрение данного круга вопросов на основе сугубо математических методов LabView-моделирования, как это до сих пор делалось, становится уже не возможным. Необходима разработка каких-то принципиально иных подходов, предполагающих возможность прямого «вторжения» в vi-систему определённым образом организованного комплекса внешних стимулов. Об одном из вариантов такой разработки и пойдёт речь.

Итак, повторяя основные условия проведения экспериментов Н.А.Швырковой, было решено взять картинки с нанесённым на них рисунком в виде чередующихся черных и белых полос. И так же, как в её опытах с микроэлектродным отведением активности отдельных нейронов мозга, эти рисунки предъявлялись в ходе выполнения «испытываемой системой» последовательности стереотипных движений к одной и той же «цели». При этом вначале, во время реализации первых 15-20 таких актов полоски на картинке располагались вертикально. Затем, их ориентация менялась на 90° , и система функционировала на фоне уже горизонтальной разметки того же самого участка внешней среды.

Для осуществления процесса оптического сканирования структуры рабочего поля 5, использовался переделанный двух координатный самописец (плоттер) NE-240. Но вместо штатного пера с «чернилкой», на его подвижной рамке 1 (рис.39) было установлено сенсорное устройство, состоящее из 4-х фотодиодов (3) и миниатюрной (16 Мегарixel) видеокамеры 4 марки A4 TECH PK-836F. Её фото-

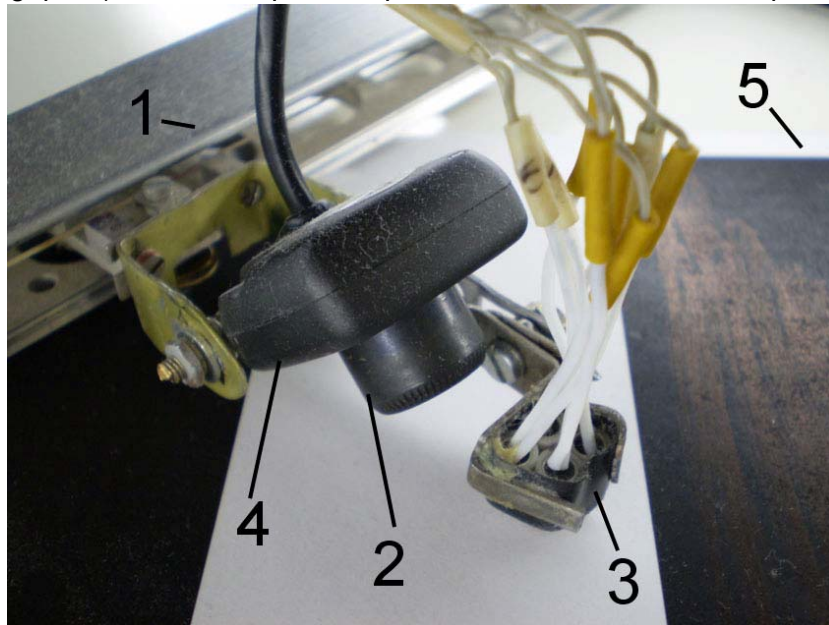


Рис.39. Внешнее фотоприёмное устройство
MODEL-08-013.vi

чувствительная матрица при помощи дополнительной линзы 2 была сфокусирована таким образом, что и видеокамера, и фотодиоды регистрировали освещённость одной и той же точки рабочего поля системы. Сигнал от каждого из установленных на головке самописца фотодиодных датчиков через индивидуальный усилитель поступал на релейное устройство, которое вызывало замыкание соответствующего микроконтакта компьютерной мыши, полностью воспро-

изводя процесс нажатия на соответствующую её клавишу (рис.40). В результате, любое появление на рабочем поле зоны «затемнения» регистрировалось vi-системой как аналог реального нажатия («вручную») на определённую клавишу компьютерной мыши.

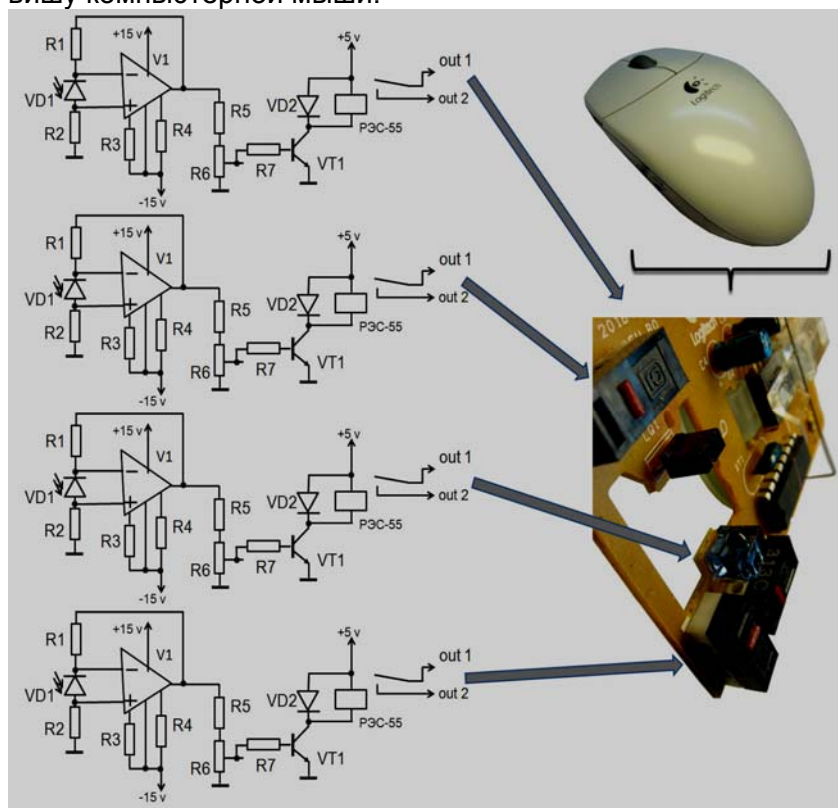


Рис.40. Принципиальная схема устройства для выявления когерентных характеристик рабочего поля.
Справа – «отпрепарированная» компьютерная мышка.
 $R1=R2=3 \text{ Мом}$; $R3=R4=4,3 \text{ Ком}$; $VD1$ –ФД-256А;
 $V1$ – К140УД6; $R5=750\text{ом}$; $R6=1,5 \text{ Ком}$.

ласти экрана монитора компьютера. Ширина и высота индикаторов «Tank» точно соответствует размерам этих пластин («Лель-1»). В результате, движение светового столбика на индикаторах вызывает пропорциональное изменение амплитуды фотоЭДС на выходах фотоприёмников. Сигнал с них подаётся непосредственно (без усиления) на входы двухкоординатного чернилопишущего прибора (рис.42). Как следствие, происходит перемещение его «рабочей точки», отражающей текущее состояние индикаторов «Tank».

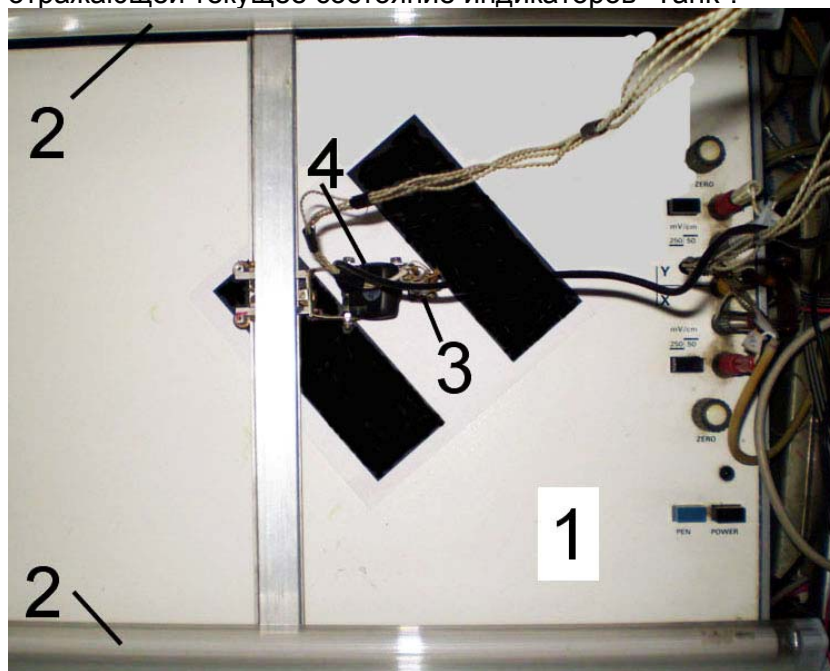


Рис.42. Двухкоординатный чернилопишущий прибор (1), модифицированный под проведение экспериментов с объектно-ориентированными LabVIEW моделями. 2 – две лампы дневного света, обеспечивающие равномерное освещение всего рабочего поля прибора, на котором находится рисунок; 3 – фотодиодный блок; 4 – видеокамера с дополнительной линзой-насадкой.

Прим. Один очень важный момент. Выходы всех фоточувствительных пластин, находящихся на поверхности экрана монитора компьютера, **обязательно** должны быть зашунтированы постоянными конденсаторами большой ёмкости (например, $C=4,7$ мкф). В противном случае на входы плоттера пойдёт высокоамплитудная наводка от монитора, которая забьёт всё на свете!

Лицевая панель и блок-схема нового устройства (MODEL-08-013.vi) в основном повторяют ранее описанную систему MODEL-06-013.vi. Отличие касается лишь использования компьютерной мыши для управления параметром уровня мотивации. В блок-диаграмме (рис.43) эту функцию выполняют три виртуальных суб прибора {Initialize Mouse.vi; Acquire Input Data.vi; Unbundle By Name} из палитры “Input Device Control Palette”.

Помимо курсора, текущие координаты которого задаются независимо работающими X и Y системами, в рабочем поле выставляется объект-мишень. Её координаты, также абсолютно независимо определяются двумя регуляторами {**Horizontal (Vertical) Pointer Slide** ↔ Numeric ↔ Control}. Кнопка «активация цели» трансформирует эти координаты в конкретную, появляющуюся на рабочем поле цель. По умолчанию её координаты отнесены в правый верхний угол рабочего поля, что позволяет наблюдать особенности движения курсора с исходной нулевой точки графика в зону, максимально от неё удалённую. Для изменения местоположения цели на рабочем поле используются два регулятора ползункового типа. Один из них (вертикальный) позволяет сдвигать цель вдоль оси «Y», а другой (горизонтальный) - вдоль «X».

Для создания двумерного графика на экране осциллографа использовались субВП: {Convert to Dynamic Data6 – Merge Signals – Build XY Graph2 – **XY Graphs**}.

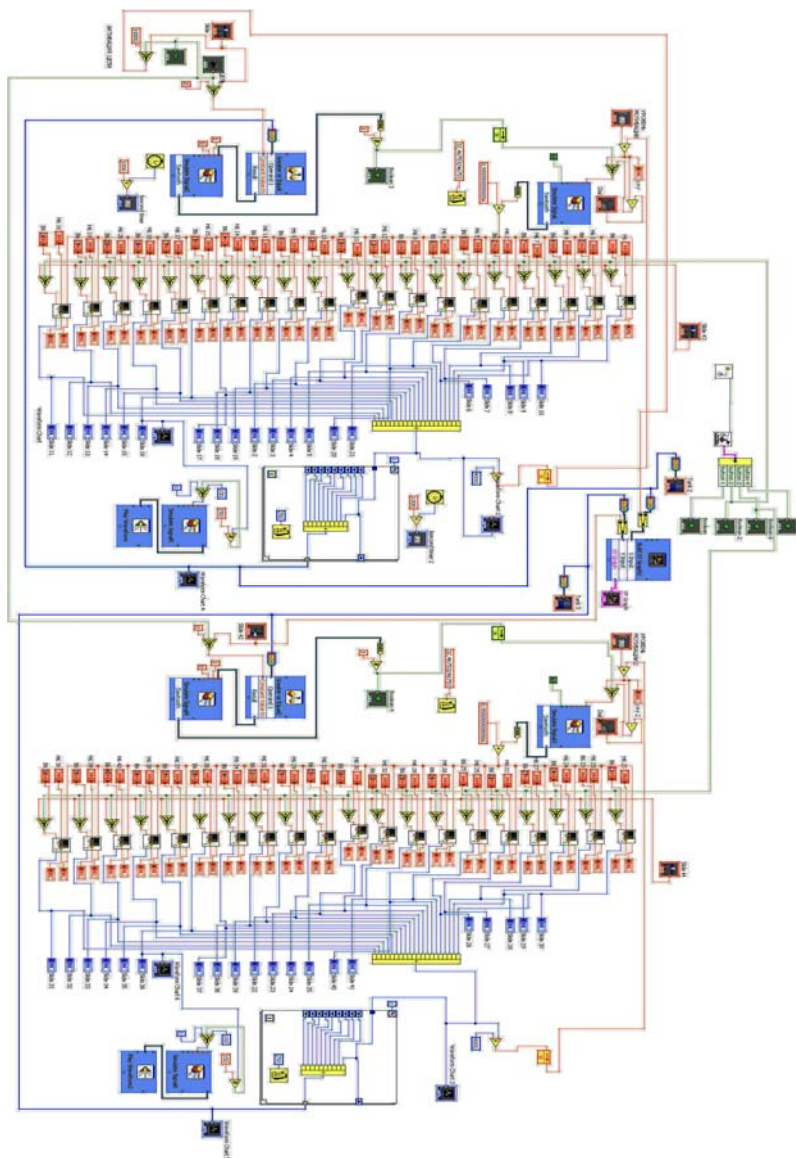


Рис.43. Математический алгоритм работы MODEL- 08-013.vi.

Action

Анализ функциональных свойств рассматриваемой vi-системы проводился по двуаспектной схеме (точно так же, как это делалось и в экспериментах Н.А.Швырковой [1980, 1984]). Т.е. вначале исследовались динамические характеристики двигательной активности всей системы в целом, после чего, уже с учётом поведенческих данных, изучались параметры импульсной активности отдельных её системообразующих элементов.

Первая, поведенческая серия тестирования осуществлялась на основе модификации MODEL-08-013-test_behav.vi. Её не слишком существенная особенность заключалась в том, что базовая модель MODEL-08-013.vi была помещена в цикл **For Loop** (N=850). Соответственно, выходные данные по координатам текущего местоположения рабочей точки регистрировались в текстово-цифровой файл при помощи субВП **Write To Measurement File** {Programming ↔ File I/O}. Обработка полученных таким путём данных и построение соответствующих графиков (рис.44) производилась в Microsoft Excel.

Вторая серия тестирования включала в себя регистрацию и анализ импульсной активности всех без исключения (двадцати) системообразующих элементов в ходе выполнения их организованной группой всё той же последовательности движений к одной и той же цели на фоне разноориентированных картинок с нанесёнными на них чёрно-белыми полосками (рис.45). В данном случае использовалась другая модификация базовой модели, а именно MODEL-08-013-test_neurons.vi, которая отличалась от предыдущей версии лишь тем, что запись данных в выходной файл велась по всем двадцати каналам устройства.

Прим. Полные (поитерационные) записи результатов проведенных экспериментов представлены на прилагаемом лазерном диске в соответствующей его директории (MODEL-08-013). Там же приводятся и данные их математической обработки.

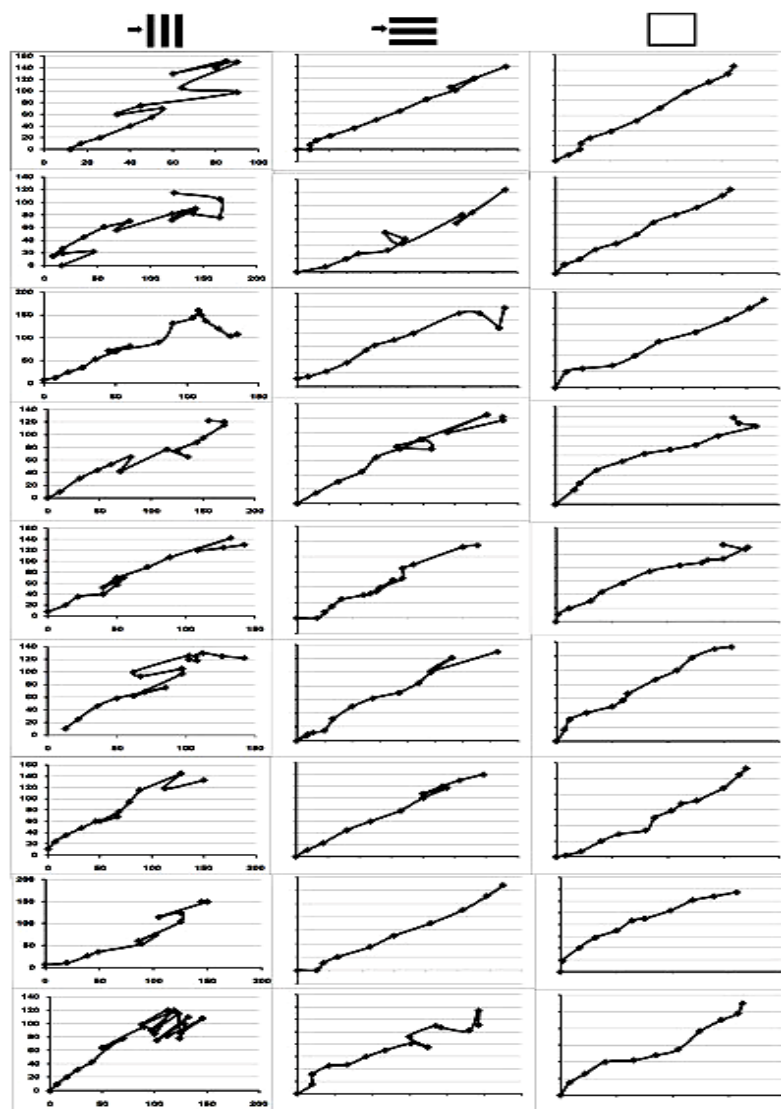


Рис.44. Актограммы движения VI-системы при разной ориентации полос рабочего поля (левый столбик – поперечное их расположение; центральный - продольное, а правый – контроль, т.е.отсутствие картинки).

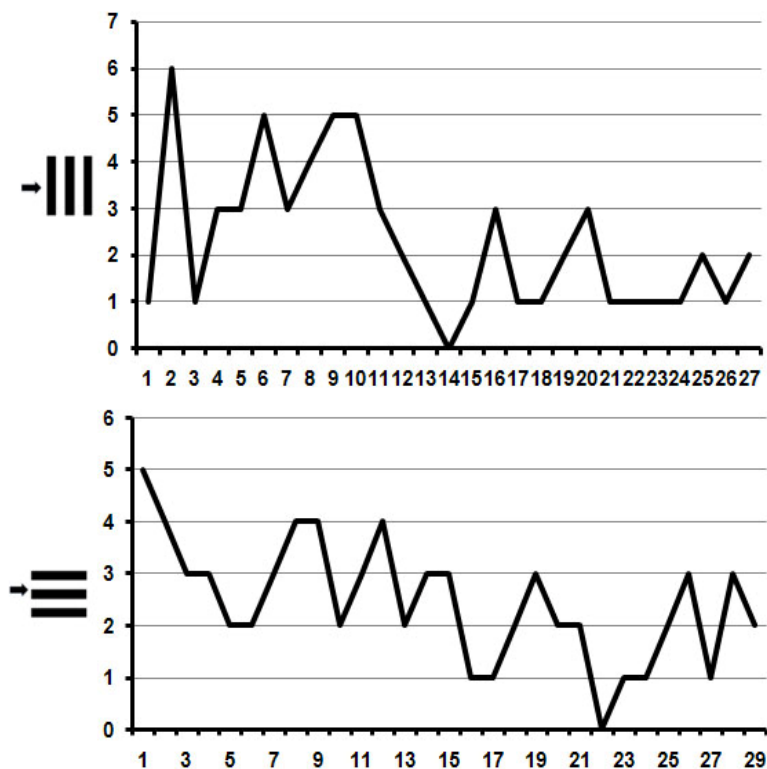


Рис.45. Различия в паттерне импульсной активности одного и того же системоспецифичного нейрооперанта при изменении ориентации полос рисунка, находящегося в области рабочего поля. По оси ординат – количество потенциалов действия (X+Y), зарегистрированных в соответствующей итерации при двух разных ориентациях рисунка (их расположение см. слева от графиков).

По оси абсцисс – время (номер соответствующей итерации).

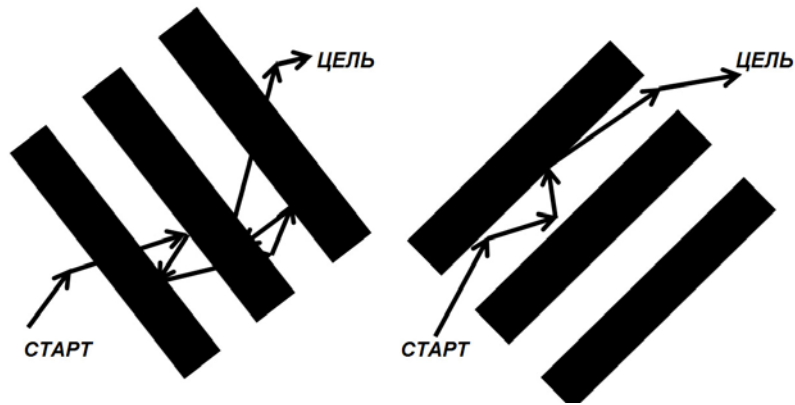


Рис.46. Одна из главных причин возникновения различий в акто- и нейрограммах vi-систем, работающих в разных условиях полевой организации внешней среды. Суть в том, что попадание системы в рамках любой из последовательных итераций на тёмную часть рисунка создаёт эффект достижения этапного результата. При этом происходит почти такой же сброс «мотивации», как и в момент получения конечного результата (только немного слабее). В силу понятных из рисунка причин, вероятность данного события в первом случае (т.е. слева) намного выше, чем во втором (справа). Отсюда и наблюдаемые различия поведения системы и её нейрооперантной активности.

Наиболее важные выводы, которые можно сделать по результатам LabVIEW анализа:

- Восприятие полевой структуры среды может происходить не только на основе многоуровневого анализа последовательно выделяемых из картин внешней среды обобщённых признаков её зрительного отображения. Для решения этой задачи достаточно лишь наличие определённых правил организации двигательной активности аналитической системы.

- Массовая связь импульсной активности нейрооперантов именно с движениями системы, а не с оптическими стимулами.

- Модулирующее влияние на конкретные формы проявления такого рода взаимосвязи фактора структурированности зрительного поля.

- Слабая зависимость нейрооперантной активности от конечного результата и от изменения его параметров.

Прим. В данной серии опытов видеокамера 4 (рис.39) использовалась только для осуществления дополнительного контроля движения системы. Значительно более «разумное» её применение будет рассмотрено в следующем параграфе монографии.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Оригинальность предложенного П.К.Анохиным разрешения проблемы центра и периферии в физиологии ВНД состоит не только в разработке представлений о структурно-функциональном единстве элементарных компонентов функциональных систем. Не менее важным является и утверждение принципа равнозначности центра и периферии в процессах самого формирования подобных интеграций. Периферии «в лице» достигаемого ею результата принадлежит даже значительно более важная роль в реализации интеграционных механизмов, чем центру.

Как именно это происходит, как с уровня исполнительного звена начинает развиваться «цепная реакция» перехода системообразующих элементов в высокоорганизованное состояние, детально раскрывают рассмотренные в настоящей работе vi-модели. Что касается экспериментального подтверждения биологического правдоподобия указанной схемы, то здесь задолго до работ П.К.Анохина были получены данные, свидетельствующие об исключительной роли именно периферии в развёртывании процессов организации психо-физиологических функций.

Особенно сильное впечатление в этом плане произ-

водят результаты выполненных в конце XIX века опытов И.М.Сеченова, первым обратившим внимание на существование проблемы, которую с полным основанием можно было бы назвать проблемой **психологии обезглавленных лягушек.**

Да, как это ни парадоксально, но первая (и, по моему - лучшая) половина классической монографии Ивана Михайловича Сеченова «Рефлексы головного мозга» посвящена рассмотрению экспериментов, проведённых именно на обезглавленных лягушках. Спрашивается: о каких рефлексах **головного** мозга можно судить, основываясь на результатах таких опытов?!

Однако никаких логических нестыковок на самом деле здесь нет. В книге приводятся удивительные факты, фантастический характер которых предполагает точное их изложение словами самого автора.

Прежде всего, оказалось, что если помазать **«обезглавленной лягушке кожу кислотой на животе, ближе к срединной линии тела, то и нога, поднимаясь кверху, направляется к срединной линии туловища (к раздраженному месту); если же помазать живот сбоку, то нога, поднимаясь снова кверху, двигается уже по другому направлению»** [Сеченов И.М.1961. С.25, выделено мной, Л.Б].

Или другое. **«Щипните в самом деле у обезглавленной лягушки ногу: она простым движением постарается удалить её от раздражителя. Помажьте ту же ногу кислотой, лягушка будет долго тереть её о какую-нибудь другую часть своего тела, стараясь как бы смыть кислоту. Ясно, что голова не нужно для того, чтобы отличить кислоту от щипка»** [там же стр.28].

А вот еще одно. **«Обезглавленная лягушка повешена вертикально в воздухе. Раздражается кислотой кожа брюха в одной половине тела, например, в правой. При обыкновенных условиях лягушка трёт раздражённое место правой же задней лапой, иногда вместе с тем и передней правой, если место раздражения лежит близко к**

последней. Но отрежьте такой лягушке правую заднюю ногу: тогда она станет тереть раздражённое место левой задней лапой, несмотря на то, что это движение ей, видимо, неловко. Кто, видя подобное явление, не скажет, в самом деле, что **в спинном мозгу лягушки сидит род разума?**» [там же стр.29] (выделено мной – Л.Б.).

И далее. «Как бы то ни было, а читатель видит, что иногда невольные движения не только не уступают в кажущемся характере **разумности** сознательным движениям (т.е. движениям, происходящим при полном сознании), но **даже превосходят** их в этом отношении» [там же стр.30, выделено мной, Л.Б.].

Главный вывод, который делает Иван Михайлович Сеченов, можно сформулировать следующим образом.

Разум, психика – это тот круг явлений, который отчётливо проявляется уже на самых нижних (периферических) уровнях организации элементарных нейрофизиологических функций организма. Исключительная роль высших отделов головного мозга в их формировании сильно преувеличена. Роль этих структур, скорее, сводится к функции координации простейших психофизиологических явлений, вырастающих с уровня двигательных единиц. Нетрудно заметить созвучность данного заключения с теми выводами, которые позднее были сделаны П.К.Анохиным в рамках рассмотрения проблемы центра и периферии в физиологии высшей нервной деятельности (см. стр.11-15 наст. книги).

К этому, пожалуй, стоит добавить ещё одно очень интересное наблюдение, которое было сделано в начале прошлого века Н.Введенским. Оказалось, что в ходе реализации даже простейших безусловных оборонительных рефлексов из центра идут командные сигналы, которые направляются одновременно к обеим мышцам-антагонистам! Получается, что центр даёт команду и на «убегание» от опасного внешнего воздействия, и на приближение к нему. А окончательное решение о том, куда двигаться, принимает опять же не центр, а периферия.

МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЖИВОГО ГЛАЗА
(MODEL-09-013.vi)

То, что обезглавленные лягушки И.М.Сеченова сохраняют способность полевого проприоцептивного восприятия своего экстраперсонального пространства с точным позиционированием в нём биологически значимых воздействий, вполне закономерно приводит к постановке более общего вопроса. А именно, распространяется ли это свойство и на другие сенсорные модальности, в первую очередь, конечно, на зрительную систему с её весьма специфической проприоцепторной компонентой?

Актуальность постановки данной проблемы вполне понятна. Не будет большим преувеличением сказать, что большинство современных нейрофизиологов придерживается точки зрения о сложной мозговой детерминированности процесса зрительного восприятия, в основе которого лежит психофизиологический феномен «внимания». Согласно развиваемым сегодня представлениям даже фиксационный поворот глаз рассматривается именно как целостный поведенческий акт с полноценной внутренней операциональной архитектурой функциональной системы по П.К.Анохину [Барабанщиков В.А., 1990, 1997].

Конкретной «мотивацией» такого акта выступает «потребность в визуальном контакте с некоторым элементом среды» (интересно: откуда берётся эта потребность, пока о неизученном объекте ничего ещё толком не известно?). Соответственно, результатом афферентного синтеза является принятие решения о перемещении глаз в сторону указанного предмета, а также формирование программы действия и акцептора результатов действия.

В качестве полезного для организма приспособительного результата предлагается рассматривать «новое направление взора, обеспечивающее оптимальные условия восприятия значимого предмета». Более того, реализация такой невероятно сложной схемы, по мнению авторов, сопровождается процессами непрерывного сопоставления

получаемой по зрительному каналу афферентации с «моделью результатов фиксационного поворота».

На наш взгляд, «запихнуть» всю эту несусветную сложность в микроинтервалы времени развёртывания саккадических движений глаз теоретически, конечно, возможно. Но реально выжить счастливому обладателю этого уникального механизма в естественных условиях современной среды обитания уже не удастся. Времени не хватит. Не дадут те, у кого со зрением и головой всё в порядке.

Действительно, существует значительно более изящный, а, главное, во всех отношениях более эффективный способ решения тех же самых проблем. В качестве иллюстрации рассмотрим следующую LabView-модель. В отличие от предыдущей разработки здесь никакая «цель» для функциональных vi-систем изначально уже не задаётся. ВП сам формирует для себя определенный комплекс узловых точек обследуемой им картины. В качестве таковой был использован хорошо известный любому психологу «двусмысленный» рисунок «девушка-старуха» (рис.47).



Рис.47. Двухкоординатный самописец с находящимся на его рабочем поле исследуемым рисунком.

Action

Запуск vi-системы с главной панели управления LabVIEW приводит к тому, что рабочая точка устройства (сфокусированные на одном и том же месте рабочего поля четвёрка фотодиодов и видекамера) начинают абсолютно произвольно в сакаддическом режиме двигаться в центральной области плоттера. Такого рода малоамплитудные случайные перемещения являются следствием несовпадения динамики изменений уровня самоорганизации в двигательных элементах-антагонистах. Синхронное возрастание или снижение степени их организованности не приводит к направленному эффекту.

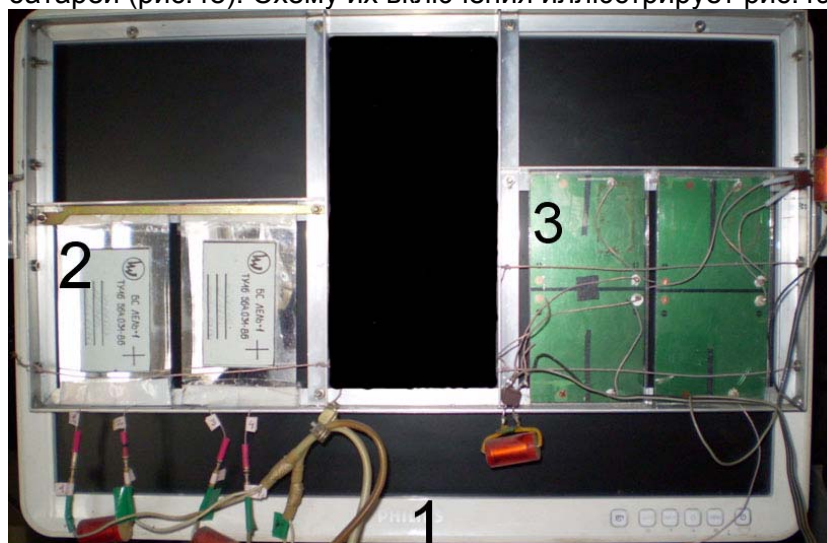
Однако особенность работы данной системы заключается в том, что фотодиоды детектируют хотя и очень близкие друг к другу точки поля, но всё-таки не одни и те же. Именно это обстоятельство и создаёт эффект направленного обследования контуров изображённого объекта, выделения в нём определенных деталей, «рассматриванию» которых система уделяет особое внимание.

О том, какие именно элементы рисунка при этом выделяются, какие формы движения, вдоль каких именно линий, какие возвраты и повторы – можно судить по видеозаписи, которая производилась на втором (вспомогательном) компьютере. Запись осуществлялась в формате AVI в компьютерной программе Windows Movie Maker. Покадровый анализ видеозаписи выполнялся затем в программе VirtualDub-MPEG2-Rus 1.6.11. Соответствующий видеоролик представлен в директории VIDEO прилагаемого лазерного диска.

В настоящей работе не ставилась специальная задача проведения детального анализа результатов этой, довольно большой серии экспериментов. Слишком велик объём получаемых здесь данных. Сложности возникают и при рассмотрении контрольных наблюдений. Поэтому пока имеет смысл ограничиться только изложением чисто методических аспектов проводимых сегодня в данном направ-

лении исследований. Подробные их результаты будут представлены в следующей публикации.

Итак, на X и Y входы плоттера в данном случае подавался сигнал не от 2-х, а от 4-х фотопластин солнечных батарей (рис.48). Схему их включения иллюстрирует рис.49.



*Рис.48. Монитор 1 компьютера с установленными на нём 4-мя фотопластинами (2 и 3) солнечных батарей для регистрации работы LabVIEW **MODEL-09-013.vi**.*

Лицевая панель данного ВП не приводится, поскольку она выглядит как сплошное тёмное поле с 4-мя светлыми индикаторами “Tank”. По этой же причине не приводилась и аналогичная картина предыдущей разработки. Все полные данные по их Control Panel, естественно, есть в файлах лазерного диска. Там же можно найти и цветные фотоснимки их Blok Diagram. Хотя основным источником информации о них, конечно же, является сам vi-прибор.

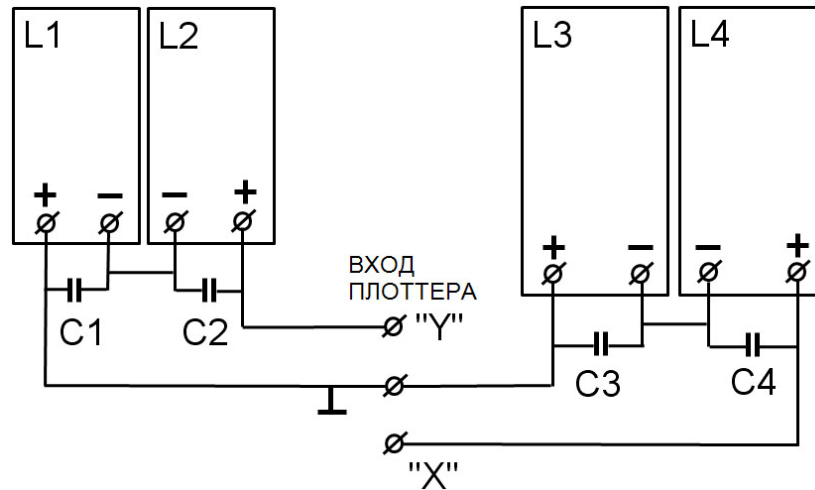


Рис.49. Принципиальная схема соединения фотопластин солнечных батарей (L1 – L4) для формирования сигналов, идущих на X и Y входы двух координатного самописца. C1 – C4 конденсаторы постоянной ёмкости 4,7 мкф. Всё остальное и так понятно.

На рис.50 представлен математический алгоритм работы данной vi-системы.

По своей структуре данный виртуальный прибор представляет собой полностью продублированный вариант предыдущей системы MODEL-07-013.vi. Характерной его особенностью является полная независимость развёртывания процессов самоорганизации всех четырёх функциональных vi-систем, образующих данный ВП.

Таким образом, необычный характер его поведения обусловлен именно внешним звеном сопряжения этих четырёх блоков, которые в ходе «столкновения» рассматриваемой модели с определенным образом структурированной внешней средой приводят к возникновению феномена двигательного отражения замысловатой структуры поля.

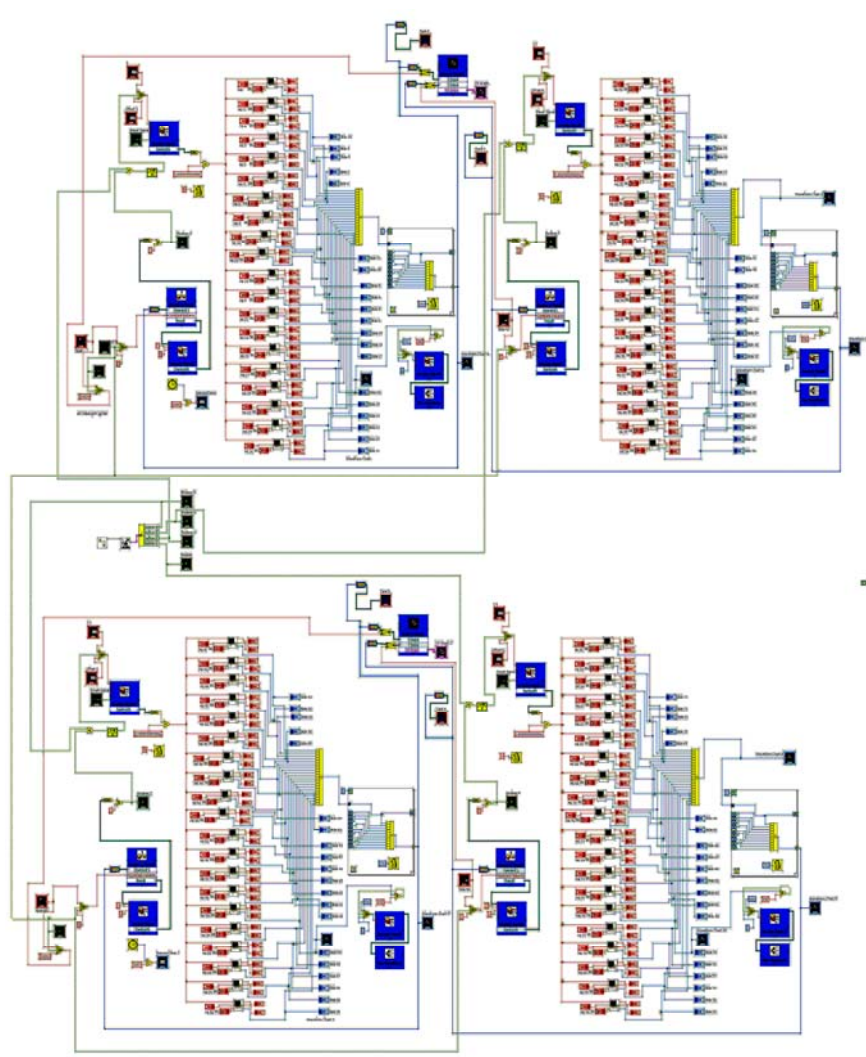


Рис.50. Математический алгоритм реализации MODEL-09-013.vi.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
**(ОБ АКСИОМАТИЧЕСКОЙ ФОРМЕ ПОСТРОЕНИЯ
ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ)**

Все приведённые выше результаты LabView-анализа, на наш взгляд, несомненно, могут способствовать всестороннему рассмотрению поставленных в начале книги вопросов, касающихся проблемы биомеханики «живого движения». Однако этим не исчерпывается их конструктивная составляющая. Как выяснилось, проводимые в области LabVIEW моделирования разработки имеют принципиально важное значение и в плане решения ряда фундаментальных задач, связанных с дальнейшим развитием системного направления психофизиологических исследований.

Особого внимания в этом плане заслуживает проблема построения аксиоматической базы общей теории функциональных систем П.К.Анохина. Настоятельная необходимость такого шага вполне понятна. Достаточно вспомнить, что именно полноценно «аксиоматизированные» концептуальные парадигмы составляют основу всей современной системы естественнонаучного знания. И занять в этой системе достойное место может только такая теория, которая имеет соответствующую данному высокому статусу аксиоматическую форму своего представления.

Прим. *“Аксиоматический метод - способ построения научной теории, при котором в ее основу кладутся некоторые исходные положения (суждения) - аксиомы, или постулаты, из которых все остальные утверждения этой науки (теоремы) должны выводиться чисто логическим путем, посредством доказательств”.*

“Аксиома - положение некоторой данной теории, которое при дедуктивном построении этой теории не доказывается в ней, а принимается за исходное, отправное, лежащее в основе доказательств других положений этой теории. Обычно в качестве аксиом выбирают такие

положения рассматриваемой теории, которые являются заведомо истинными или могут в рамках этой теории считаться истинными» [БСЭ. Т.1. С.345].

Классическими примерами успешной реализации аксиоматического метода являются: геометрия Евклида, механика Ньютона, аналитическая механика, современная электродинамика, дарвиновская теория эволюции.

При очевидных различиях, общим для всех этих теорий является констатация в рамках каждой из них ряда бездоказательно принимаемых исходных посылок (постулатов). Именно из них затем чисто **теоретически** выводится огромное количество всевозможных следствий, выводов, заключений. Наиболее эффективным инструментом перехода от постулатов к выводам, несомненно, следует считать математику, включая её специальный раздел: «Булеву алгебру» – алгебру логических доказательств.

Важнейшим моментом является то, что в рамках каждой из аксиоматически выстроенных теорий беспредельному либерализму выдвижения постулатов всегда противостоит требование полной безупречности эмпирического подтверждения всех вытекающих из них следствий. Если хотя бы один частный вывод, не говоря уже о положениях самой аксиоматической базы, опровергается результатами экспериментальных исследований, вся теоретическая конструкция в целом признаётся несостоятельной. А момент нестыковки эмпирики с теорией начинает рассматриваться как объективно установленная точка роста данного научного направления – роста путём отрицания и конструктивного преобразования опорочивших его частных случаев.

В свете вышесказанного, вновь возвращаясь к рассмотренным в настоящей монографии функциональным LabView системам, нетрудно заметить, что все они являются собой не что иное, как **строго математически оформленные переходы** от 5 ранее постулированных [Бобровников Л.В., 2008. С.97; 2011. С.28-29] принципов общей теории функциональных систем к большому числу выводимых из

них следствий, каждое из которых полностью подтверждается результатами проведённых в разные годы многочисленных нейрофизиологических исследований.

Конкретно, что именно было сделано:

- Было взято определение функциональной системы в том виде, как его изложил сам П.К.Анохин в своих последних работах 1971-1974 гг.

- Сформулирован максимально ограниченный ряд постулатов, основывающихся на этом определении. Единственным новым дополнением к ним является положение о способности системообразующих элементов к оперантной детерминации своей индивидуальной активности.

- Взят аппарат LabView-анализа в качестве инструмента **математического вывода** из постулатов многочисленных следствий и заключений. С этой точки зрения все разработанные нами за последние годы LabView **блок-диаграммы** следует рассматривать именно в качестве строго математически оформленных переходов от постулатов общей теории функциональных систем к вытекающим из них следствиям. Особенность заключается лишь в том, что каждая блок-схема является собой не одну-единственную линию математического доказательства, а определенный их набор, точнее говоря, тезаурус.

- Проведено сравнение полученных таким **сугубо математическим путём** выводов с реальной нейрофизиологической феноменологией свободного целенаправленного поведения.

- Доказан факт полного соответствия всей рассмотренной нейрофизиологической эмпирики с теоретически (LabView-математически) сделанными выводами.

Отсюда следуют два окончательных заключения:

- Заключение о возможности аксиоматической формы построения общей теории функциональных систем.

- Заключение об эффективности применения именно LabVIEW технологий в качестве инструмента формирования доказательной базы этой теоретической конструкции.

Можно не сомневаться, что найдётся немало критически настроенных читателей, которых не устроит излишне ограниченная трактовка феномена функциональной системы как интеграции элементарных, сугубо центрально-периферических микрообразований. Серьёзные возражения, я полагаю, встретит и отказ от определения свойств таких систем через набор узловых механизмов их внутренней операциональной архитектоники. Однако при этом неизбежно возникает вопрос: а существует ли на сегодняшний день какая-то реальная альтернатива?

Разработанный нами подход действительно кардинальным образом отличается от всех ранее предпринимавшихся попыток аксиоматизации теории П.К.Анохина. И главное отличие состоит в том, что наш подход включает в себя конкретный инструментарий теоретического вывода следствий с целью их последующей экспериментальной проверки. Ничего подобного в других интерпретациях нет. Там всё начинается и заканчивается лишь назначением ряда «анохинообразных» постулатов. Невозможность дальнейшего построения на их основе какой-то более сложной теоретической конструкции совершенно очевидна. Убедиться в этом можно, ознакомившись с любым из предлагаемых сегодня изложением аксиоматических основ теории функциональных систем. Например, такой её версией.

«Несколько ведущих постулатов лежат в основе этой теории:

- 1) результат деятельности как ведущий, системообразующий фактор;*
- 2) саморегуляция как общий принцип организации функциональных систем;*
- 3) изоморфизм функциональных систем различного уровня;*
- 4) избирательная мобилизация отдельных органов и тканей в целостную организацию функциональных систем. Взаимодействие отдельных элементов достижения конечных результатов;*

5) иерархия функциональных систем;

6) мультипараметрическое регулирование функциональных систем по конечным результатам” [Судаков К.В. Общая теория функциональных систем. 1984. С.34].

Спустя три года тем же автором предлагается другой вариант изложения аксиоматики теории П.К.Анохина.

“Теория функциональных систем, - пишет он, - исходит из следующих постулатов:

1. Определяющим моментом деятельности различных функциональных систем, обеспечивающих гомеостаз и различные формы поведения животных и человека, является не само действие, а полезный для системы и для организма в целом результат.

2. Инициативная роль в формировании целенаправленного поведения принадлежит исходным потребностям, организующим специальные функциональные системы, включающие механизмы мотивации и на их основе мобилизующие генетически детерминированные или индивидуально приобретенные программы поведения.

3. Каждая функциональная система строится по принципу саморегуляции, при котором отклонение результата деятельности функциональной системы от уровня, обеспечивающего нормальный метаболизм, само является стимулом к мобилизации соответствующих системных механизмов, направленных на достижение результатов, удовлетворяющих соответствующие потребности.

4. Функциональные системы избирательно объединяют различные органы и ткани для обеспечения результативной деятельности организма.

5. В функциональных системах осуществляется постоянная оценка результата деятельности с помощью обратной афферентации.

6. Системная центральная организация функциональных систем различной степени сложности по сравнению с центральными механизмами рефлекторной дуги

имеет более сложную архитектуру и включает такие стадии, как афферентный синтез, принятие решения, предвидение потребного результата (акцептор результата действия), эфферентный синтез и само многокомпонентное действие. Рефлекторная дуга является только составной частью системной организации физиологических функций.

7. В центральной структуре функциональных систем наряду с линейным принципом распространения возбуждения складывается специальная интеграция опережающих возбуждений, программирующих свойства конечного результата деятельности” [Судаков К.В. В кн.: Функциональные системы организма. 1987. С.53].

Позднее, все тем же автором был разработан ещё один вариант опостулирования идей П.К.Анохина [Судаков К.В. Теория функциональных систем. 1996. стр.31].

Эти дерзновенные начинания человеческого разума смог «переплюнуть» только дуэт монгольских учёных, сформулировавших аж целых одиннадцать (11 !!!) постулатов общей теории функциональных систем [Сухбат Г., Дашзэвэг Г., 2002. С.20]. (Так, глядишь, и до ста недалеко).

Вся эта чехарда с аксиоматикой, на наш взгляд, говорит лишь об одном. Совершенно очевидно, что только назначением основных положений какой бы то ни было теории, построить её никогда не удастся. Без разработки эффективной методологической базы теоретического вывода из этих самых постулатов множества всевозможных следствий с целью их последующей экспериментальной проверки, никакого конструктива получить не возможно.

Сегодня такая методологическая база есть. В основе её лежит объектно-ориентированное, математическое моделирование функциональных vi-систем с последующим мультипараметрическим компьютерным анализом свойств каждого получаемого таким путём образования. Серьёзные основания для оптимизма дают результаты уже самых первых, проведённых в данном направлении исследований.

Литература

Александров Ю.И. Постоянство состава активирующихся нейронов при изменениях параметров целенаправленного движения - Журн. высш. нервн. деят. 1982. Т.32. №2. С.333-336.

Александров Ю.И., Гринченко Ю.В. Изменение рецептивных полей центральных нейронов в поведении: иерархический анализ - Нейроны в поведении. Ред.В.Б.Швырков. 1986. М.: Наука. С.107-119.

Александров Ю.И., Дружинин В.Н. Теория функциональных систем в психологии. – Психологический журнал. 1998. № 6. С.5.

Александров Ю.И. и др. «Нейрон. Обработка сигналов. Пластичность. Моделирование». Изд-во Тюменского государственного университета. 2008.

Анохин П.К. и др. Проблема центра и периферии в физиологии нервной деятельности. Горьковское издательство. 1935.

Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. М.: Медицина 1968. 499 с.

Анохин П.К. Теория функциональной системы. - Успехи физиол. наук. 1970. Т.1. №1. С.19-54.

Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. М.: Наука. 1971.

Анохин П.К. Системный анализ условного рефлекса - Журн. высш. нервн. деят. 1973. Т.23. N 2. С.246.

Анохин П.К. Системный анализ интегративной деятельности нейрона и понятие его степеней свободы. В сб.: Системный анализ интегративной деятельности нейрона. М.: Наука. 1973. С.3-10.

Анохин П.К. Системный анализ интегративной деятельности нейрона - Успехи физиологических наук. 1974. Т.5. № 2. с.5 - 92.

Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. М.: Медицина. 1975.

- Барабанщиков В.А. Динамика зрительного восприятия. М.: Наука. 1990. 239 с.
- Барабанщиков В.А. Окуломоторные структуры восприятия. М.: Изд-во ИПРАН, 1997.
- Бернс Б. Неопределенность в нервной системе. М.: Мир. 1969. 251с.
- Бернштейн Н.А. Координация движений. 1930. БМЭ. Т.13. С.755-757.
- Бернштейн Н.А. Проблема взаимоотношений координации и локализации - Архив биол. наук. Т.38. №1. 1935.
- Бернштейн Н.А. О построении движений. Медгиз. 1947. 255 с.
- Бернштейн Н.А. Физиология движений и активность. М.: Наука. 1990. 491 с.
- Бобровников Л.В. Импульсная активность корковых нейронов в двух разнородных типах инструментального поведения кроликов - Журн. высш. нервн. деят. 1982. Т.32. №2. С.340 - 343.
- Бобровников Л.В. Об особенностях реализации оборонительных и пищедобывательных инструментальных реакций в условиях конкурентных соотношений - Журнал высш. нервн. деят., 1982. Т.32. №6. С.1077-1083.
- Бобровников Л.В. Устройство для дискретного анализа импульсной активности нейронов в условиях свободного поведения животных.- Журнал высш. нервн. деят., 1983. Т.33. №6. С.1167-1169.
- Бобровников Л.В. Исследование корковых нейронов методом микроионофореза, управляемого нейронной активностью - Журн. высш. нервн. деят. 1986. Т.36. №5. С.975-977.
- Бобровников Л.В. Разрядная активность нейрона как фактор реорганизации его нейромедиаторного притока - Мат. Международной конференции "Системные механизмы подкрепления". Москва. 1986. С.7-9.
- Бобровников Л.В. Нейрофизиологические аспекты взаимодействия функциональных систем пищедобывательного и оборонительного поведения - В сб.: Нейроны в пове-

дении. Системные аспекты. (Ред. В.Б.Швырков). М.: Наука. 1986. С.180-194.

Бобровников Л.В. Формирование поведенческого акта: проблема внутрисистемной гетерохронии - Журн. высш. нервн. деят., 1988. Т.38. №1. С.30-39.

Бобровников Л.В. Вероятностно-статистические критерии оценки поведенческой специализации нервных клеток - Психологический журнал, 1989. Т.10. №2. С.90-98.

Бобровников Л.В. Особенности поведенческой специализации стабильно- и нестабильно-активных нервных клеток - Журн. высш. нервн. деят., 1996. Т.46. №4. С.745-753.

Бобровников Л.В. Репарационная активность и нейрогенез.- Журн. высш. нервн. деят., 1996, Т.46. №5. С.961-964.

Бобровников Л.В. "Подпороговые" нейромедиаторные процессы и их роль в реализации механизмов интегративной деятельности нейрона - Вестник новых мед. технологий. 1998. Т.5. №1. С.42-45.

Бобровников Л.В. Явление положительного биохимического подкрепления в функционировании сложных нейронных систем - Вестник РАЕН. 2003. №2. С.48-52.

Бобровников Л.В. Механизмы мотивационной детерминации нейронной активности в поведении - Психологический журнал РАН. 2003. Т.24. №4 С. 98-111.

Бобровников Л.В. Явление биохимической оперантной детерминации активности нейронов головного мозга человека и животных (Диплом на научное открытие №195). Приоритет: 28 октября 1985 г.

Бобровников Л.В. Инструментальные формы нейробиохимического взаимодействия. ISBN 5-86229-052-4. Шуя. Изд-во «Весть». 2000.

Бобровников Л.В. Молекулярно-биологические и физиологические основы нейросинергизма. ISBN 5-89903-039-9. Москва. 2005.

Бобровников Л.В. Основы квантовой синергетики функциональных систем. Часть I. ISBN 978-5-91506-008-0.

Москва. 2008.

Бобровников Л.В. Основы квантовой синергетики функциональных систем. Часть II. ISBN 978-5-91506-026. Москва. 2011.

Бобровников Л.В. Многоканальный электрод с независимым перемещением микропроводников в пучке. 2011. Патент на изобретение RU 2421253 (Дата приоритета 07.10.2009 г.).

Бобровников Л.В. Устройство для моделирования самоорганизующихся сетей неформальных нейронов. 2013. Патент на изобретение RU 2484527 С1. G06N 3/06. (Дата приоритета 12.12.2011 г.).

Боксер О.Я. Психофизиологические исследования функциональных биотехнических систем с биологической обратной связью - Успехи физиол. наук. 1994.

Большая Советская энциклопедия. Т1.

Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 476 с.

Гальперин П.Я. Развитие исследований по формированию умственных действий. «Психологическая наука в СССР». Т.1. Изд-во АПН РСФСР. М. 1959.

Ганзен В.А., Грановская Р.М. О роли моторного звена зрительной системы при опознании объекта по внешнему контуру. Вопросы психологии. 1965. №1.

Гидиков А. Микро структура произвольных движений человека. Изд-во Болгарской АН. 1970. 195 с.

Гиневская Т.О. Развитие движений руки при осязании у детей дошкольного возраста. Известия АПН РСФСР. 1948. Вып.13.

Гиппенрейтер Ю.Б., Уразаева В.А. Исследование движений глаз при решении метрических задач. Вопросы психологии. 1963. №6.

Глезер В.Д. Механизмы опознания зрительных образов. М-Л.: Наука.1966.

Движение глаз и зрительное восприятие. Ред. Ломов Б.Ф. М.: Наука. 1978. 277 с.

Запорожец А.В. О действенном характере зрительного восприятия предмета. Доклады АПН РСФСР. 1962. №1.

Зинченко В.П. Движения глаз и формирование зрительного образа. Вопросы психологии. 1958. №5.

Зинченко В.П., Ломов Б.Ф. О функциях движений руки и глаза в процессе восприятия. Вопросы психологии. 1960. №1.

Зинченко В.П., Ван Чжи-Цин, Тараканов В.В. Становление и развитие перцептивных действий. Вопросы психологии. 1962. №3.

Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: Мир. 1973. 280 с.

Горкин А.Г. Зависимость специализации нейронов от способа выполнения пищедобывательного поведения. В сб.: Нейроны в поведении. Системные аспекты. 1986. М. Наука. С.270-278.

Греченко Т.Н. Соматические механизмы регуляции синаптической эффективности. В сб.: Системный подход к психофизиологической проблеме. М.: Наука. 1982. С.222-227.

Горкин А.Г., Гринченко Ю.В. Вовлечение нейронов зрительной коры в функциональную систему последовательного поведения. В сб.: Системный подход к психофизиологической проблеме. М.: Наука. 1982. С.168-178.

Гринченко Ю.В., Швырков В.Б. Простой микроманипулятор для исследования нейронной активности у кроликов в свободном поведении - Журн. высш. нервн. деят. 1974. Т.24. №4. С.870.

Драбкина Т.М., Матюшкин Д.П., Романовский Д.Ю. О модулирующем действии некоторых факторов мышечного происхождения на функцию моторного нервного окончания - Российский физиологический журнал им. И.М.Сеченова. 1999. №1. С.149-158.

Запорожец А.В. Развитие произвольных движений. Изд-во АПН РСФСР Москва. 1960. 428 с.

Информационные модели функциональных систем. Под ред. Судакова К.В. М.: 2004.

Кемпбелл Э., Саммерс Лаче К. Стратегический синергизм. Изд-во «Питер». 2004. 415 с.

Леонтьев А.Н. Проблемы развития психики. Изд-во АПН РСФСР. М. 1959.

Лехтман Я.Б., Шустин Н.А. Методологические аспекты физиологии поведения. – Успехи физиологических наук. 1978. Т.8. №1. С.28-41.

Мак-Каллок У., Питтс В. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности // Нейронные сети: история развития теории. Под ред. Галушкина А.И., Цыпкина Я.З. ИПРЖР. 2001. С.5-22.

Матюшкин Д.П. Реакции нервных элементов на накопление K^+ в среде и функциональная калийная обратная связь в синапсе - Физиол. журн. СССР 1976. Т.62. №12. С.1834-1841.

Матюшкин Д.П. Обратные связи в синапсе. Л.: Наука. 1989.

Матюшкин Д.П. О влиянии постсинаптических факторов на пресинаптические нервные окончания - УФН 1977 Т.8. №3 С.28-47.

Матюшкин Д.П., Шабунова И.А., Шароварова И.М. О существовании калийной функциональной обратной связи в нервно-мышечном синапсе - ДАН СССР. 1975. Т.224. №6. С.1464-1467.

Матюшкин Д.П. и др. Антидромное действие K^+ в синапсах, усиливающее их ортодромное действие - Физиологический журнал им. И.М.Сеченова. 1995. №8.

Моделирование функциональных систем. Москва. 2000. Под ред. Судаков К.В., Викторов В.А. 254 с.

Назаров А.И. «О построении движений» - спустя 50 лет.1997 //www.unidubna.ru/images/data/gallery/9_697_nazarov-bernstein.doc

Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс. 1986. 431 с.

Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. М.: 1994. Изд-во «Прогресс». 266 с.

Серавин Л.Н. Обладают ли одноклеточные животные способностью к научению? В сб.: Движение и поведение одноклеточных животных. Л.: Наука. 1978. С.62-75.

Сеченов И.М. Рефлексы головного мозга. Изд-во АН СССР. 1961.

Снедекор Д.У. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. М.: Мир. 1961. 318 с.

Соколов Е.Н. Привыкание гигантского нейрона моллюска к электрическим внутриклеточным раздражениям - Нейронные механизмы обучения. М.: МГУ. 1970. С.92.

Судаков К.В. Общая теория функциональных систем. М.: Медицина. 1984. 222 с.

Судаков К.В. Нейрональные механизмы организации системного «кванта» поведения. В сб.: Нейроны в поведении. Системные аспекты. М.: Наука. 1986. С.58-73.

Судаков К.В. Теория функциональных систем. М. 1996. 95 с.

Судаков К.В. Нормальная физиология. Учебник для студентов медицинских вузов. 2006 С.642.

Сухбат Г., Дашзэвэг Г. Вклад К.В.Судакова в развитие системного подхода. В кн.: Системные аспекты физиологических функций. Т.11. Труды межведомственного научного совета по экспериментальной и прикладной физиологии. 2002. С.20-23.

Уолтер Г. Живой мозг. М.: Мир. 1976. С.15.

Фадеев Ю.А. Нейроны коры большого мозга в системной организации поведения. М.: Медицина. 1988. 174с.

Фадеев Ю.А., Бобровников Л.В., Волков В.Ф., Швыркова Н.А. Изучение деятельности отдельных нейронов коры мозга в свободном поведении животных на основе теории функциональных систем.- Вестник Академии медицинских наук СССР. 1982. №2. С.42-47.

Филин В.А. О механизме непроизвольных скачков глаз

и их роль в зрительном процессе. В кн.: Моторные компоненты зрения. М.: Наука. 1975. С.69-101.

Хакен Г. Синергетика. М.: Мир.1980.403 с.

Хакен Г. Информация и самоорганизация. М.: Мир.1991.

Хакен Г., Хакен-Крелль М. Тайны восприятия. М.: Институт компьютерных исследований. 2002. 272 с.

Хаютин С.Н. Характеристика активности одиночных нейронов зрительной коры в условиях выраженной пищевой мотивации - Журн. высш. нервн. деят. 1972. Т.22. №6. С.1248-1259.

Хокинс Д., Блейкли С. Об интеллекте. М. 2007. 240с.

Шевченко Д.Г. Стабильность поведенческой специализации нейронов. - Журн. высш. нервн. деят. 1990. Т.40. №2. С.291-300.

Шеррингтон Ч. Интегративная деятельность нервной системы. Л.: Наука. 1969. 389 с.

Швырков В.Б. Нейрофизиологическое изучение системных механизмов поведения. М.: Наука. 1978. 240 с.

Швырков В.Б. Целевая специализация центральных нейронов в процессе обучения. В сб.: Интегративная деятельность нейрона. Материалы V Всесоюзн. семинара по развитию общей теории функциональных систем. М. 1979. С.146.

Швырков В.Б. О системных основах психофизиологии. В сб.: Системный подход к психофизиологической проблеме. М.: Наука. 1982. С.10-23.

Швырков В.Б. Психофизиологическое изучение структуры субъективного отражения - Психологич. журн. 1985. Т.6. №3. С.29.

Швырков В.Б. Изучение активности нейронов как метод психофизиологического исследования поведения. В сб.: Нейроны в поведении. Системные аспекты. М.: Наука. 1986. С. 6-25.

Швырков В.Б. Введение в объективную психологию. Нейрональные основы психики. М.: Ин-т Психологии. 1995.

Швыркова Н.А. Активность нейронов зрительной области коры при изменении пространственной организации среды. В сб.: Мозг и психическая деятельность. Москва. Наука. 1984. С.175-184.

Швыркова Н.А. Активность нейронов коры и гиппокампа в обучении. В сб.: Нейроны в поведении. Системные аспекты. М.: Наука. 1986. С.253-270.

Швыркова Н.А., Бобровников Л.В. Активность нейронов центральных структур в функциональной системе пищедобывательного поведения при изменении обстановки. В сб.: Интегративная деятельность нейрона. Мат. V Всесоюзн. семинара по развитию общей теории функциональных систем. М. 1979. С.113-115.

Швыркова Н.А., Филипович Д., Лажетич Б. Опережающее отражение изменяющейся среды в активности центральных нейронов - Вестник АМН СССР. 1985. №2.

Шевченко Д.Г., Александров Ю.И., Гаврилов В.В., Горкин А.Г., Гринченко Ю.В. Сопоставление активности нейронов различных областей коры в поведении. В сб.: Нейроны в поведении. Системные аспекты. М.: Наука. 1986. С. 25-35.

Шиффман Х.Р. Ощущение и восприятие. 5-е издание. ISBN 5-318-00373-7. Санкт-Петербург. 2003. 928 С.

Ярбус А.Л. Роль движений глаз в процессе зрения. М. Наука. 1965.

Basmajian J.V., Stecko G. A new bipolar electrode for electromyography - J. Appl.Physiol. 1962. v.17. P.849-851.

Belluzzi J.D., Kossuth S.R., Lam D., Derakhshanfar F., Shin A., Stein L. Cocaine self-administration patterns: duplication by combination of dopamine D1 and D2 agonists.- Society for Neuroscience Abstracts. 1993. №19. P.1862.

Bobrovnikov L.V. Formation of the behavioral act: problem of intrasystemic heterochronia - Neurosci. Behav. Physiol. 1988. V.18. №6. P. 453-461.

Bobrovnikov L.V. Microiontophoretic application of L-glutamate as a factor of operant conditioning of neuron firing pattern.- Systems Research in Physiology. 1991. v.4. P.219-

228. Gordon and Breach Science Publishers. New York.
Bobrovnikov L.V. Device for the investigation of metabolic processes of the nerve cell in the period of the generation of the action potential.- *Neurosci. Behav. Physiol.* 1992. V.22, №4, P.284-286.
- Burns B.D. The uncertain nervous system. 1968. London. Ed.: E.Arnold. 263 p.
- Chance Laurel P. Thorndike s puzzle boxes and the origins of the experimental analysis of behavior. – *Journal of the experimental analysis of behavior.* 1999. V.72. №3. P.433-440.
- Donahoe J.W. Edward L.Torndike: The Selectionist Connectionist. – *Journal of the experimental analysis of behavior.* 1999. V.72. №3. P.451-454.
- Donahoe J.W. Edward L.Torndike: The Selectionist Connectionist - *J. Exp. Analysis of Behavior.* 1999. V.72. №3. P.451-454.
- Fatt P., Katz B. Spontaneous subthreshold activity at motor nerve endings - *J.Physiol.* - 1952.- №1. P.109.
- Fetz E.E. Biofeedback and differential conditioning of response patterns in the skeletal motor system.- *Biofeedback and behavior.* 1977. P.413-425.
- Fetz E.E., Baker M.A. Operantly conditioned patterns of precentral unit activity and correlated responses in adjacent cells and contralateral muscles.- *J. of Neurophysiol.* 1973. V.36. №2. P.179-204.
- Fetz E.E., Finicchio D.V. Operant conditioning of specific patterns of neural and muscular activity. In.: *Brain unit activity during behavior.* Springfield. Illinois. USA. 1973. P.301.
- Haken H. *Phys. Lett.*, V.46 A. №193. (1973).
- Hubel D.H., Wiesel T.N. Receptive fields of single neurons in the cats striate cortex - *J. Physiol.* 1959. v.148. P.574.
- Lashley K.S. *Brain Mechanisms and Intelligence.* Constable Dover. New York. 1963.
- McCulloch W.S., Pitts W.A. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. - *Bull. Math. Biophysics.* 1943. v.5. P.115.

Monnier M., Gangloff H. Rabbit brain research atlas for stereotaxic brain research on the rabbit. In.: Rabbit brain research. Amsterdam: Elsevier. 1961. V.1. P.76.

Moore B.R. The role of directed Pavlovian reactions in simple instrumental learning in the pigeon. In.: Constraints on learning, Hinde R.A. Stevenson-Hinde J. (eds.) London, Academic Press. 1973.

Mountcastle W.E. Some neural mechanisms for directed attention. - In.: Cerebral correlates of conscious experience. Amsterdam etc.: North-Holland Publ. Co. 1978. P.37-52.

Mountcastle W.E., Lynch J., Georgopoulos A. Posterior parietal association cortex of the monkey: command function for operations within extrapersonal space. - J. Neurophysiol., 1975. v.38. №4. P.871-908.

Navin J.A. Analyzing Thorndike's Law of Effect: the question of stimulus-response bonds. - Journal of the experimental analysis of behavior. 1999. V.72. №3. P.447-450.

Perrett D.I., Rolls E.T. A technique for microiontophoretic study of single neurones in the behaving monkey - J. Neurosci. Methods. 1985. V.12. P.289.

Perrett D.I. et al. Monitoring social signals arising from the face: studies of brain cells and behaviour. - 8-th world congress of IOP. Tampere. 1996. P.201.

Rossetto M.A., Vandercar D.H. Lightweight FET circuit for differential or single-ended recording in freely moving animals - Physiol. Behav. 1972. V.9. P.105-106.

Self D.W., Stein L. (1992) The D1 agonists SKF 82958 and SKF 77434 are self-administered by rats. Brain Research. v.582. P.349-352.

Self D.W., Stein L. (1992). Receptor subtypes in opioid and stimulant reward. Pharmacology and Toxicology, 70(1), 87-94.

Stein L. In vitro reinforcement of hippocampal bursting: Possible cellular and molecular mechanism of drug reward. Reg. Peptides. 1994. v.54 P.285-286.

Stein L. Biological substrates of operant conditioning and

the operant-respondent distinction J. Exp. Anal. Behav. 1997. v. 67. P.246-253.

Stein L. Biological substrates of operant conditioning and the operant-respondent distinction - J. Exp. Anal. Behav. 1997. v. 67. P.246-253.

Stein L., Belluzzi J.D. Cellular investigations of behavioral reinforcement. // Neuroscience and Biobehavioral Reviews. V.13. P.69-80.

Stein L., Belluzzi J.D. Reward transmitters and drugs of abuse. In: J.Engel and L.Oreland (Eds.), Brain reward systems and abuse 1987. (pp.19-33) New York: Raven Press.

Stein L., Belluzzi J.D. Operant conditioning of individual neurons. In: M.L. Commons, R.M.Church, J.R.Stellar, A.R.Wagner (Eds.). Quantitative analyses of behavior. V.7. Biological determinants of reinforcement and memory 1988. (pp. 249-264). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Stein L. and Belluzzi, J.D. Cellular investigations of behavioral reinforcement. Neuroscience & Biobehavioral Reviews 1989. v.13. P.69-80.

Stein L., Xue B.G., Belluzzi J.D. A cellular analogue of operant conditioning - Journal of the Experimental Analysis of Behavior. 1993. №60. P.41-53.

Stein L., Xue B.G., Belluzzi J.D. In vitro reinforcement of hippocampal bursting: a search for Skinner's atoms of behavior.- Journal of the experimental analysis of behavior. 1994. №61. P.155-168.

Xue B.G., Belluzzi J.D., Stein L. In vitro reinforcement of hippocampal bursting activity by the cannabinoid receptor agonist CP-55, 940 - Brain Research. 1993. V.626. P.272-277.

Watanabe M. Prefrontal unit activity during delayed conditional discriminations in the monkey - Brain Res. 1981. V.225. N1. P.51.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Часть I. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОМЕХАНИКИ ЖИВОГО ДВИЖЕНИЯ

Введение	5
Проблема управления принципиально неуправляемыми органами	6
Системные принципы организации физиологических функций	15
Синергетические принципы самоорганизации функциональных систем	20
Саморегуляция и самоорганизация центрально-периферических образований	22
Простейший вариант управления системой	24
LabView интерпретация модели Н.А.Бернштейна.....	28
Другой, более реалистичный вариант построения исходной модели (MODEL-02-013.vi).....	33
Ещё более реалистичный вариант LabView-версии модели Н.А.Бернштейна (MODEL-03-013.vi).....	38
Общее заключение по разделу: LabView интерпретация нейрокибернетической классики.....	47

Часть II. СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ САМООРГАНИЗАЦИИ НЕЙРООПЕРАНТНЫХ ГРУПП

Введение	48
----------------	----

LabView интерпретация базовой субъективности нейронной сети	52
От системно-специализированных спайков к системно специализированным их паттернам	65
Явление мультипараметрического гомеостаза процессов самоорганизации (MODEL-06-013.vi)	77
Обсуждение.....	84
Часть III. НЕЙРОСИНЕРГЕТИКА ПЕРЦЕПТИВНЫХ ДЕЙСТВИЙ	
Введение.....	88
Активность нейронов при изменении пространственной организации среды	91
Первая серия опытов: радикальное изменение основных условий достижения результата.....	91
Вторая серия опытов: изменение параметров зрительного поля.....	99
Обсуждение результатов	102
Двигательная активность как детектор структурно-полевых признаков внешней среды (MODEL-08-013.vi).....	106
Обсуждение результатов	117
Модель движения живого глаза (MODEL-09-013.vi).....	120
Заключение. ОБ АКСИОМАТИЧЕСКОЙ ФОРМЕ ПОСТРОЕНИЯ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ	126
Литература	132
Оглавление.....	144



Об авторе:

БОБРОВНИКОВ ЛЕОНИД ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

Родился 10 июля 1952 г. в городе Пушкино Московской области^{*1}. С 1958 года проживает в Москве, где окончил музыкальную школу (1967) и экспериментальную спец. школу №204 (математический класс) (1969).

В 1975 году окончил Московский технический университет радиотехники, электроники и автоматики. 1975-1978 гг.: НИИ ОКР по закрытой тематике (разработка фазовращателей для РЛС с АФР).

С 1978 года работал в Научно-исследовательском институте нормальной физиологии им. П.К. Анохина Российской академии медицинских наук. Автор фундаментальных исследований в области нейрофизиологии целенаправленного поведения человека и животных^{*2}. Впервые доказал возможность изменения системной специализации корковых нейронов при смене доминирующей мотивации стереотипных инструментальных действий^{*3} (1982). Установил особенности динамики разрядной активности системоспецифичных нейронов мозга в процессе формирования нового поведенческого акта (1979-1982). Одним из первых в России внедрил в практику микроэлектродных исследований метод видео регистрации нейронной активности в условиях свободного поведения животных (1983). Провел экспериментальный нейрофизиологический анализ полимотивированной инструментальной деятельности. Впервые доказал возможность нарушения принципа доминирования функциональных систем («правила исключительности целостных деятельностей организма») в условиях экстренной смены пицедобывательного поведения на оборонительное^{*4} (1982).

Разработал методику безартефактной регистрации низкоамплитудных компонентов электрокардиограммы у свободноподвижных животных (1985).

Предложил и осуществил методику биоуправляемого микроионофореза^{*5} (1985). Впервые провел исследование нейронной активности в условиях самоподведения нервной клеткой биологически активных веществ (1985-1987). Обосновал возможность изучения параллельно протекающих в мозге нейрональных процессов на основе данных, полу-

чаемых путем последовательной (выборочной) регистрации каждого из этих процессов в отдельности (метод опосредованных корреляций) (1988). Результаты выполненных исследований позволили сделать вывод о градуальном характере вовлечения отдельных нервных клеток в состав функциональной системы и установить основные закономерности специализации нейронов, относящихся к числу стабильных и нестабильных элементов одной и той же интеграции*⁶.

Разработал методику изучения активности «мыслеспецифичных» нейронов коры головного мозга (так называемых, нейрогеммулюсов) в опытах с раздражением их мультиплицированными биоэлектрическими разрядами мотивационных центров гипоталамуса (special themes, 1983). В рамках развития концепции системогенеза П.К.Анохина предложил принципиально новый подход к анализу процесса обучения, суть которого заключается в рассмотрении динамики становления («созревания») внутренней операциональной архитектоники функциональной системы на последовательных этапах формирования нового поведенческого акта*⁷ (1984). По результатам множественного корреляционного анализа установил наличие гетерохронии (разновременности) в изменении показателей, характеризующих разные аспекты генеза системных узловых механизмов.

1990 год. Один из четырёх научных сотрудников института, которые удостоились квалификационного гранта фонда Сороса (выдавался по критерию соответствия уровня проводимых исследований требованиям западных стандартов). Однако от дальнейшего сотрудничества с Фондом отказался, посчитав невозможным условие предоставления зарубежным спонсорам всех результатов выполняемой работы.

Разработал метод импульсной биоуправляемой изотопной метки*⁸ (1991). Доказал факт существования фазных изменений интенсивности аминокислотного обмена нейронов в период генерации одиночных потенциалов действия как основы формирования глобального процесса метаболической межнейронной кооперации (1998). Предложил ряд принципиально новых подходов к исследованию быстропротекающих в микрообъемах нервной ткани биохимических реакций (1996-2000).

Впервые показал, что наряду с классическими («хемореактивными») формами нейрохимического взаимодействия в нервной системе человека и животных возможна принципиально иная (нереакционная) схема проявления биологически активного характера многих веществ, прежде всего тех, на которые у человека происходит **выработка зависимости**. Сформулировал гипотезу обусловленности процесса эволюционного отбора внутренними факторами элиминации и противодейст-

вующими им репарационными формами клеточной активности, которые выступают в качестве важнейших детерминант биогенеза (явление «внутренней борьбы за существование»)*⁹ (1996).

Обосновал общее заключение о возможности разработки кардинально новых нейрофизиологических моделей, учитывающих способность нервных клеток объединяться в устойчивые по составу группы (функциональные системы), в которых строго согласованный характер активности отдельных элементов достигается на основе механизма положительного биохимического подкрепления индивидуальных паттернов разрядной деятельности (2003).*¹⁰

Создал новое научное направление, связанное с изучением оперантно-детерминированных форм нейрохимического взаимодействия*¹¹. На основе модели группового взаимосвязанного поведения разработал компьютерную методику исследования процессов эффективного взаимодействия в условиях решения группой лиц общих задач с единичными начальными и конечными условиями (special themes, 2004)*¹².

По результатам объектно-ориентированного (LabView) моделирования функциональных vi-систем предложил аксиоматическую форму имплементации постулатов теории П.К.Анохина (2011-2013).

В 2004 году удостоен звания «*Ветеран Труда*».

Автор научного открытия и патентов на изобретения в области нейрофизиологии и функциональной нейрохимии.

Членство в научных организациях:

Академик Российской Академии естественных наук (председатель отделения психофизиологии),

действительный член Академии медико-технических наук РФ (руководитель отделения психофизиологии),

действительный член Международной академии авторов научных открытий,

действительный член Европейской Академии естественных наук им. Лейбница.

Основные публикации (монографии):

Инструментальные формы нейрохимического взаимодействия. ISBN 5-86229-052-4. Шуя. Изд-во «Весть». 2000.

Молекулярно-биологические и физиологические основы нейросинергизма. ISBN 5-89903-039-9. Москва. 2005.

Основы квантовой синергетики функциональных систем. Часть I. ISBN 978-5-91506-008-0. Москва. 2008.

Основы квантовой синергетики функциональных систем. Часть II. ISBN 978-5-91506-026. Москва. 2011.

Нейросинергетика живого движения. ISBN 978-5-91506-051-6. Москва. 2013.

КОММЕНТАРИИ

***1 Родители.**

**БОБРОВНИКОВА
(ГРОМОВА) ЗИНАИДА
ПОЛУЭКТОВНА**



- Ордена: Отечественной войны II степени, Красной Звезды.

- Медали: За победу над Германией в войне 1941-1945, Участник Курской битвы, украинская «Защитнику отчизны» и др.

Родилась 8 мая 1924 г. в городе Москве.

В семнадцать лет после вести о гибели на фронте отца добилась добровольного призыва в армию. Окончила школу радистов в г. Горьком. В звании сержант, в качестве разведчика-радиста участвовала в Курской битве в составе разведотдела Брянского фронта, затем в боях за освобождение левобережной Украины. Награждена знаком «Отличный разведчик» (1943). В составе 2-го Прибалтийского фронта участвовала в боях за полное снятие блокады Ленинграда и освобождение Латвии. Войну закончила в Кенигсберге. Ордена «Красная Звезда» сержант З.П.Громова была удостоена за битву на Курской дуге.

После увольнения из армии окончила педагогический институт. Работала директором московской средней школы №699. Была одним из инициаторов внедрения в послевоенных школах России практики начального профтехобразования учащихся. Особой заслугой Зинаиды Полуэктоvны стал уникальный опыт по созданию московской школы-интерната №76 для детей больных сколиозом в содружестве с Центральным институтом травматологии и ортопедии (ЦИТО), его директором академиком М.В.Волковым. В своей кандидатской диссертации и других научных трудах Зинаида Полуэктоvна изложила организационно-методические основы формирования учреждений такого типа. Этот опыт был востребован с союзных республиках, где в 70-е годы было создано более 40 школ такого типа. Выставка достижений народного хозяйства СССР наградила школу Дипломом высшей степени, а ее директора -

Бронзовой и Золотой медалями. Заслуженный учитель школы Российской Федерации. Почетный ветеран города Москвы. Почетный ветеран Российской Федерации.

С 1994 года - член Совета ветеранов войны и труда Северного округа г. Москвы, а также президент окружного женского ветеранского клуба «Дорогая моя подруга». История и результаты работы этого клуба отражены в книге, рекомендованной к изданию Московским городским советом ветеранов (издательство «Патриот» 2006).



1984 г.

БОБРОВНИКОВ ВЯЧЕСЛАВ ФЕДОРОВИЧ



- Ордена: Отечественной войны II степени, Красная Звезда, За службу Родине III степени, Знак Почета, польский Серебряный крест заслуги.

- Медали: За боевые заслуги, Ветеран Советских Вооруженных Сил и др.

Родился 22 апреля 1923 г. в г. Камышлов Свердловской области.

В октябре 1941 г. был призван в армию. Окончил Новоград-Волынское пехотное училище (г.Ярославль). В чине лейтенанта стал командиром взвода курсантов в Первом московском пулеметном училище, которое к осени 1942 года перебазировалось из Подмоскovie в г. Рязань. В марте

следующего года стал старшим лейтенантом – командиром курсантской роты. Спустя год училище было расформировано, на его базе создана Центральная Школа Подхорунжих (курсантов), в составе действующей Первой польской армии. Так, наряду с другими советскими офицерами-инструкторами, старший лейтенант Бобровников стал поручником Польской армии, начальником штаба батальона. В июле 1944 года армия вошла в состав Войска Польского. В конце декабря ЦШП ВП отбыла на фронт под Перемышль. В марте 1945 года Вячеслав Федорович стал капитаном и был награжден орденом Серебряный крест заслуги. В июне 1945 г. приказом командующего Краковским военным округом была учреждена военная комендатура на Вавеле (в Королевском замке), который на время к тому же стал резиденцией Верховного главнокомандующего Войска Польского маршала М. Жимерского. Военным комендантом Вавеля был назначен капитан В.Бобровников.

После войны окончил Военно-воздушную инженерную академию им. Н.Е.Жуковского. В конце 1958 г. приказом Главного командующего Военно-Воздушными Силами Вячеслав Федорович назначается начальником Учебно-тренировочного полигона ракет большой дальности (Р-4

конструкции С.П.Королева) под городом Рига. В канун Нового 1960 года на полигон прибыли маршал авиации Руденко в сопровождении главного маршала артиллерии Неделина, который дал высокую оценку полигону и сообщил о его предстоящем переводе в возглавляемый им новый род войск – Ракетные войска стратегического назначения (РВСН).

Летом 1960 г. Вячеслав Федорович стал одним из ведущих научных сотрудников вновь созданного отдела по разработке эксплуатационно-технической документации для ракетных комплексов стратегического и космического назначения в составе головного НИИ РВСН (НИИ – 4 Министерства Обороны). Имелись в виду «Руководства службы» - инструктивно-методические и практические пособия для служб и сотрудников центральных научно-испытательных полигонов, составленные на основе проектно-конструкторской документации с учетом практического опыта запуска стратегических ракет. Результатом полугодовой научной командировки на Байконур стало разработанное им Руководство службы по обеспечению запусков ракет-носителей, одобренное лично главным конструктором и создателем стартовой площадки №1 С.П.Королевым. После этого, в течение года, занимался разработкой научно-технической документации для шахтных стартовых позиций стратегических ракет. Но, прервал работу в связи с назначением на должность начальника планового отдела НИИ 4 МО, который под его руководством, за короткое время из обеспечивающего подразделения превратился в научный «Отдел планирования и координации научно-исследовательских работ». Обоснованный В.Бобровниковым системный подход в защищенной им диссертации и научных трудах получил признание в масштабах оборонного ведомства. За вклад в создание «ракетно-ядерного щита» СССР был награжден орденом: За службу Родине в вооруженных силах III степени, а к тридцатилетию Победы орденом Отечественной войны II степени.

После увольнения из армии в запас занимался преподавательской и научно-административной работой на разных должностях в учреждениях: Научно-технического комитета при Совете Министров СССР и Главного Архивного Управления СССР. Участвовал в работе Общества советско-польской дружбы, включая посещение памятных мест и публичные выступления в Польской народной республике, получили высокую оценку. Вячеслав Федорович награжден: Золотой медалью Общества польско-советской дружбы (Варшава), медалью «Польско-советское братство по оружию» и нагрудным знаком «Ветеран Войска Польского».

*2

«Фундаментальные исследования». Звучит весьма помпезно.

На самом деле, это многозначительное словосочетание всего-навсего означает тот факт, что научная работа, о которой идет речь, не имеет никакого практического значения. И все: ничего более. Вот, например, закон всемирного тяготения. Зачем, спрашивается, нормальному человеку знать, что он живёт в мире, где все ко всему притягивается с силой,

обратно-пропорциональной квадрату расстояния? А теория относительности... Это вообще полный мрак! Какая, скажите на милость, от неё польза народному хозяйству? Что её законы дают простым людям в их нелегкой повседневной жизни? Кроме самих ученых, которые удовлетворяют своё любопытство за государственный счет, это мало кому, в сущности, нужно.

*³ Что такое «нейроны» сегодня знает даже школьник, но вот что такое **системоспецифичные нейроны** толком не смогут объяснить даже специалисты, всю жизнь занимающиеся их изучением. И это весьма прискорбный факт. Ведь, в 2014 году Нобелевская премия по физиологии была вручена именно за открытие явления системной специализации нервных клеток, вернее, одной из конкретных её разновидностей. А это свидетельствует о неоспоримом признании мировым сообществом исключительной важности разработок, проводимых в рамках данного научного направления с его потенциалом реального выхода на создание систем искусственного интеллекта. Здесь явно есть о чем задуматься нынешним реформаторам отечественного образования и науки.

Итак, феномен системной специализации нервных клеток. В чем его суть?

Ответить на этот вопрос можно так.

Хорошо известно, что нейроны головного мозга теснейшим образом связаны с различными сенсорными системами (зрительной, слуховой, тактильной, обонятельной...). В настоящее время не вызывает никаких сомнений и другой факт, а именно, что такого рода взаимосвязь строится по иерархическому принципу: нейроны первого, так сказать, нижнего уровня могут получать информацию только непосредственно от самих клеток-рецепторов, каждая из которых кодирует лишь простейшие свойства внешних раздражителей. Поэтому акцептировать глобальные признаки окружающей среды такие нейроны не могут. На это способны нервные клетки, образующие более высокие («нейроаналитические») уровни «пирамиды распознавания образов». Соответственно, на вершине её находятся нейроны наивысшей степени сенсорной осведомленности, которых, естественно, очень и очень мало. Настолько мало, что среди миллионов примитивно специализированных клеток обнаружить их практически не реально. Вроде бы вполне очевидное заключение.

Так вот, оказалось, что все это полная ерунда! В естественных условиях свободного поведения нейроны-детекторы элементарных признаков куда-то вдруг внезапно исчезают. А вместо них объявляется неусветное количество сложно специализированных их собратьев. Например, нейронов по уходу за новорожденными животными, нейронов бодрствования, нейронов бабушки, нейронов ошибок, нейронов кормушки, нейронов семьи Симпсонов, ну и в частности, отмеченных нобелевкой «нейронов когнитивной карты». Можно сказать, что фактор свободы

движения радикальным образом изменяет саму конфигурацию системы распознавания образов. Вместо пирамидальной структуры, строящейся на массивном основании нейронов-детекторов примитивных признаков, она становится уже планарной, состоящей исключительно из сложно специализированных («**системоспецифичных**») клеточных элементов.

Почему это происходит до сих пор остается не ясным. Нобелевские лауреаты 2014 года получили свою премию за чистейшую феноменологию. Мол, есть такое явление: множество нейродетекторов одного и того же глобального признака – когнитивной карты окружающей среды - и точка. А откуда они берутся? Почему их так много? Как полноформатная карта местности «умещается» в памяти отдельной нервной клетки? Этого сегодня у них там, на Западе, никто не знает. Теоретического объяснения нет, и пока вроде бы, даже не предвидится.

Ну, хорошо, а что у нас? Кто-нибудь в СССР/России этим занимался? И, если да, то, что конкретно было сделано?

Ответ может удивить многих. В нашей стране такие исследования не просто проводились, а уже изначально осуществлялись в контексте детально проработанного теоретического обоснования. Согласно предложенной ещё в начале 1970-х годов академиком П.К.Анохиным концепции интегративной деятельности нейрона в качестве императивного фактора, детерминирующего активность отдельной нервной клетки (именно **одного нейрона**, а не их сетей!), в естественных условиях всегда выступает результат поведенческого акта. Это значит, что наблюдая за работой таких клеток, можно объективно анализировать структуру происходящих вокруг организма биологически значимых событий. И, как частный случай – когнитивную карту взаиморасположения разных средовых объектов как одного из ведущих параметров полевого позиционирования конечного результата поведенческого акта.

Возможность прямой экспериментальной проверки этой гипотезы на основе однофакторной схемы анализа появилась в конце 1970-х годов. Тогда впервые удалось разработать метод регистрации активности отдельных нервных клеток в ходе выполнения подопытным животным последовательности стереотипных целенаправленных действий, завершающихся достижением кардинально различных результатов: получение пищи и предотвращение сильного болевого воздействия [Бобровников Л.В., 1979, 1982].

В рамках плановой тематики АМН СССР эта поисковая работа проводилась под руководством А.И.Шумилиной. Полученные данные были опубликованы в ведущих академических журналах, доложены на международных симпозиумах и всесоюзных конференциях. В общем, все – как положено.

За границей, сориентировались довольно быстро. А вот у нас сразу после смерти А.И.Шумилиной это направление было окончательно и бесповоротно закрыто по инициативе верхушки РАМН в лице тогдаш-

него руководителя отделения медико-биологических исследований академика Судакова К.В. В результате, мы имеем сегодня то, что имеем: очередное повторение судьбы кибернетики-генетики XX века. В общем, все как обычно: они там, «за бугром» нобелевские премии получают, а мы лицезреем лишь щедро оплачиваемых государством академиком-недоумков и их горячо любимых детей. Такого нет нигде в мире. Только в России. И, главное, не понятно почему? Ведь вся эта орава генетически продвинутых гос.профессоров, гос.член-корргов и академиков явно «мышей не ловит». Только гадят. Один академик-герострат Пивоваров чего стоит! Ну и зачем, спрашивается, их нужно содержать на деньги честных налогоплательщиков? Вопрос этот давно уже назрел. И для начала надо просто перестать платить им за их высокодоходные «корочки» как это давным-давно сделано на Западе. Тем более что и момент для этого вполне подходящий. В одну кучу весь этот отечественный «мозг нации» уже свалили. Остается только взять лопату и хорошенько по ней шмякнуть. Вон, конечно, будет немало. Что-что, а ещё со времен академиков АН СССР/УССР Лысенко, Быкова, Презента, Асратяна и им подобных, портить всем воздух они хорошо научились. Но ради светлого будущего нашей страны преодолеть этот рубеж (а, по сути дела, просто присоединиться к общим правилам, которые есть во всем мире) совершенно необходимо...

***4 Нерецепрочные формы междоминантного взаимодействия.**

По свидетельству древних историков великий римский император Гай Юлий Цезарь мог одновременно читать, думать, писать и говорить на совершенно разные темы. Современная наука о мозге исключает возможность осуществления таких сложно организованных действий. Вывод этот прочно закреплен в рамках, так называемого, принципа доминирования функциональных систем и «правила исключительности целостных деятельностей организма» (см. учебники российских вузов по курсу нормальной физиологии).

Так вот, оказалось, что феномен Юлия Цезаря на самом деле вполне возможен. Более того, он реально воспроизводим даже в случае разномотивированных форм целенаправленного поведения, таких, например, как пищедобывательные и оборонительные инструментальные действия. Это было экспериментально доказано в начале 1980-х годов. Тогда же были установлены и конкретные нейрональные механизмы, обуславливающие возникновение данного явления.

Результаты проведенной работы заслужили у нас в стране вполне предсказуемую оценку. Сразу после опубликования полученных данных в престижных научных журналах (в четырех за один только 1982 год!), руководством АМН СССР был незамедлительно поставлен вопрос о закрытии данной темы и увольнении их автора (ну, не учебники

же, право-дело переписывать). Избежать этого удалось только благодаря личному вмешательству А.И.Шумиловой. В качестве компромисса автору публикаций была предоставлена возможность повторить знакомый для многих русских ученых путь и продолжить проводимые им исследования в почетной должности старшего лаборанта на полставки с окладом 47руб/месяц для покупки приборов и расходных материалов. Успешная защита диссертации по этой тематике состоялась в декабре 1984 года.

*5 **Биоуправляемый микроионофорез.**

Согласно современным представлениям все вещества как органической, так и неорганической природы можно условно разделить на две большие группы. А именно, химические субстраты, обладающие биологической активностью и таковыми не обладающие. К биологически активным принято относить те из них, которые способны вызывать изменения функционального состояния либо организма в целом, либо определенных его клеточных структур. Ну а биологически неактивные вещества делать этого не могут. Вроде бы, вполне понятное утверждение.

На самом деле все не так просто. В действительности, как теперь выясняется, биологически неактивных веществ вообще не существует. Даже чистейшая дистиллированная вода, если её подводить к отдельной нервной клетке, вызывает у последней характерную биоэлектрическую реакцию. Причина - изменение градиента осмотического давления в зоне раздела «клетка-среда». В свете этого, а также многих других фактов, приходится признать, что критерий биологической активности относится скорее не к самим химическим веществам, а к **дозам**, в которых предполагается их присутствие на уровне той или иной биоструктуры.

В плане дальнейшего развития этих представлений в середине 1980-х годов был установлен еще один весьма примечательный факт. Оказалось, что точка размежевания субстратной активности/неактивности определяется не только дозой вещества и его химической формулой. Как выяснилось, эта граница начинает радикальным образом сдвигаться в сторону меньших концентраций в том случае, если введение осуществляется в режиме так называемой «оперантной детерминации».

Что это значит?

Допустим, мы хотим установить параметры нейрхимической чувствительности заинтересовавшей нас нервной клетки. В рамках классического подхода к решению этой задачи к исследуемому нейрону начинают подводить разные вещества, и анализировать возникающие при этом реакции. Если в ответ на аппликацию определенного субстрата регистрируется активация или торможение биоэлектрической активности

– значит, на мембране клетки находятся специфические рецепторы к данному веществу. А раз они есть, то есть ещё много чего другого, связанного с их функционированием и появлением (ДНК→РНК→белок)...

Оперантно-детерминированной альтернативой такого способа тестирования является предварительное наблюдение за спонтанной активностью данной нервной клетки с последующим включением источника аппликации только после момента возникновения каких-либо повторяющихся сдвигов «фоновый» процесса. Например, сразу после каждой очередной самопроизвольной «вспышки импульсации» (именно постреализационно!). Так вот, оказалось, что в этом случае, даже микроскопические дозы некоторых веществ (буквально в следовых, «гомеопатических» концентрациях) начинают вызывать радикальные изменения в работе нейронов. Причем, особенно сильно, если подведение осуществляется из многоствольных (более 10-ти каналов) микропипеток, когда тестируемой клетке по сути дела предоставляется возможность выбора из широкого спектра различных веществ. И по тому, какие из них она, грубо говоря, «запрашивает», а затем получает, возникает возможность объективизации особой, до недавнего времени совершенно не известной формы нейрхимического взаимодействия. Наибольшей силой влияния на работу нейронов в этом случае обладают вещества, на которые у человека происходит выработка зависимости и которые своим вхождением в немедиаторную составляющую (см.п.*8) синаптической передачи меняют саму базовую схему её реализации.

***6 Стабильно- и нестабильно-активные нервные клетки.**

Сегодня становится понятной исключительная важность того факта, что в период формирования целенаправленного поведения человека и животных наблюдается возникновение множества нейронов, имеющих **разную глубину** функциональной взаимосвязи с одним и тем же глобальным событием организменного уровня. Только благодаря этому, изначально опознаваемыми элементами среды начинают выступать не простейшие признаки находящихся в ней объектов, а её собственные полевые характеристики. Соответственно, в структурах головного мозга основными отражателями таковой становятся не пирамиды нейродетекторов сенсорного примитива, а пирамиды уровней функциональной взаимосвязи нейронной активности с одними и теми же событиями внешнего мира.

Здесь необходимо еще раз отметить, что суть открытого О`Кифом феномена заключается отнюдь не в существовании в мозге особых нейронных систем, элементы которых «разбирают» окружающее пространство на отдельные детали, складывая из них затем некую единую, иерархически воспроизводимую когнитивную карту. Каждый нейрон является носителем всей проекции внешней среды в целом. Именно один нейрон, а не их сетевая команда. Однако возникновение

указанного явления, как ни странно, происходит только тогда, когда таких системно озадаченных нервных клеток оказывается очень много.

Результаты современного компьютерного vi-моделирования дают исчерпывающий ответ на вопрос: почему это происходит. Более того, они позволяют сделать вывод о том, что многие актуальные на сегодняшний день проблемы построения эффективных систем распознавания образов могут быть успешно решены именно таким путем. То есть, исходя из идеи первичности **двигательно-активной** перцепции структурных признаков внешней среды (перцепции, осуществляемой не только организмом, но и в ближайшей перспективе, РЛС нового поколения). В этом случае процесс выделения отдельных объектов происходит как результат интерференции восприятий одной и той же разнофокусированной локальной структурно-полевой аномалии, объективизация которой уже не требует каких-либо специальных программных преднастроек на её обнаружение. Это происходит автоматически как своего рода атрибут движения рецепторного поля, наделенного свойствами активно фазированной решетки. Соответственно, код предметной конкретизации (например, «свой-чужой») оказывается здесь «зашит» **в параметрах матрицы вариативности** разрядов сходно специализированных нейроморфных элементов, демонстрирующих разно выраженные фазные перестройки.

*7

«Внутренняя операциональная архитектура функциональной системы». Ещё одно довольно заумное словосочетание.

На самом деле ничего сложного тут нет. Каждый из нас по собственному опыту хорошо знает: прежде чем начать что-то делать, у него «в голове» возникает мысленное представление о том, что именно после реализации своих действий он получит (каков будет их результат).

В свое время П.К.Анохин выдвинул предположение, что такая схема построения поведенческой активности не является сугубо антропогенной. То есть, не только человек, но и животные выстраивают свои взаимоотношения с окружающим миром всегда на основе механизма «опережающего отражения действительности». Это значит, что перед началом каждого очередного поведенческого акта в их ЦНС формируется так называемый акцептор результатов действия (АРД). Затем следует само действие. Ну, а после его завершения происходит сличение параметров достигнутого результата с прогнозируемыми в АРД.

В рамках дальнейшего развития этих представлений в начале 1980-х годов было высказано предположение о возможности распространения предложенного П.К.Анохиным принципа системного детерминизма и на сам процесс **формирования** новых поведенческих актов. Их становление **в ходе обучения** было предложено рассматривать как совокупность взаимосвязанных изменений, которые всегда затрагивают один и тот же универсальный набор узловых механизмов функциональ-

ной системы (ФС). В частности, происходит "обогащение" аппарата АРД (термин, введенный А.И.Шумиловой), совершенствование программы и параметров исполнительного действия, модификация механизмов оценки достигнутого результата.

Насколько согласованно по отношению друг к другу реализуются эти процессы в разных ситуациях обучения, и как такого рода согласованность («скоррелированность») сказывается на его качестве?

Прим. Эта проблема приобретает особую актуальность в тех случаях, когда от скорости принятия правильного решения, от скорости реализации целенаправленного действия и точности оценки параметров полученного результата зависит не только достижение конечного эффекта, но и подчас само выживание человека или даже всей репрезентативной в отношении решаемой задачи социальной группы.

Детальное рассмотрение данного круга вопросов имеет принципиально важное значение и с теоретической точки зрения. Дело в том, что одной из исходных посылок теории П.К.Анохина является принцип «единства центра и периферии в физиологии ВНД». Именно так был озаглавлен ряд публикаций, сделанных в самом начале разработки системного направления физиологических исследований. Схема же внутренней операциональной архитектоники функциональной системы была предложена значительно позже. И когда это произошло, неизбежно возник вопрос о её соответствии исходному принципу системообразования. Действительно, ведь и афферентный синтез, и формирование цели предстоящего действия, и актуализация его программы – все это вроде бы относится исключительно к сфере мозговых явлений. Поэтому ни о каком единстве центра и периферии на начальной стадии развертывания ФС говорить вроде бы не приходится. Это же заключение с полным основанием можно распространить и на процесс обучения, который в современной психофизиологии интерпретируется как системогенез поведенческого акта. И чаще всего, в рамках проводимого анализа констатируется первичность преобразований нейронных механизмов головного мозга по отношению к исполнительным (мышечным).

Так вот оказалось, что никакой одновременности процессов совершенствования центральных и периферических механизмов ФС в обучении на самом деле нет. Принцип их неразрывного единства и здесь проявляется в полной мере. Гетерохрония имеет место лишь в отношении параметров результативности действия. Особое значение этот вывод приобретает в свете активно предпринимаемых, но до сих пор еще безуспешных попыток разработки систем искусственного интеллекта как неких абстрагированных от исполнительных органов компьютерных моделей «чистого разума». С позиций теории ФС: абсолютно пустая затея.

^{*8} **Импульсная биоуправляемая изотопная метка.**

Множество исследований, которые проводятся сегодня в области изучения головного мозга, порождает у простого обывателя уверенность в том, что уж в нейрофизиологии все построено на исключительно точных, многократно перепроверенных экспериментальных данных.

На самом деле, это не так. В действительности, именно современная наука о мозге продолжает втюхивать в сознание наших доверчивых сограждан множество ложных идей, которые не имеют никакого отношения к реалиям окружающего мира. Причем, делается это на высокопрофессиональном уровне. К числу такого рода популярных нейронадувательств относится и так называемая медиаторная теория. С пролетарской убежденностью во взоре нейрофизиологи всего мира продолжают упорно вещать, что передача информации между нейронами реализуется импульсными нейромедиаторными посылками.

Это – не правда! На самом деле, нейроинформационное взаимодействие **всегда** осуществляется **только многокомпонентными смесями** различных биологически активных веществ. Причем, доля нейромедиаторов в таком информационно-химическом коктейле составляет всего лишь несколько процентов. Вопрос: а что являет собой остальная (подавляющая) часть везикулярного матрикса, который высвобождается в синаптическую щель с приходом каждого очередного пресинаптического потенциала действия? Это что, «дешевый» изотонический NaCl 0,9%, который медики используют при инъекции своим пациентам различных лекарственных препаратов? Как бы ни так! Речь идет о метаболической ценности, за обладание которой любая живая клетка готова на любые ухищрения, лишь бы заполучить эту смесь для удовлетворения своих насущных потребностей.

При этом неизбежно возникает ряд вопросов. Прежде всего, какова роль немедиаторной составляющей синаптической передачи в реализации собственно информационных процессов межнейронной взаимоделимости? Насколько постоянным является её состав? Одинаков ли он у разных (ну, хотя бы, по своей «эргичности») нейронов? Меняется ли во время генерации определенной последовательности биоэлектрических импульсов? Возможна ли передача информации подобным способом на уровне процессов, так называемой, «синаптической утечки»?

Чтобы выяснить реальную судьбу **немедиаторной составляющей** синаптической передачи, как раз и был разработан метод импульсной биоуправляемой изотопной метки. Суть этого не имеющего до сих пор аналога решения заключается в следующем. К функционально активному нейрону подводят специальный микроаппликатор, который позволяет экстренно, в момент генерации каждого очередного потенциала действия заменять одну из составляющих (любую!) экстраклеточной среды в области синапса на равное количество меченного изотопами аналога. Таким образом, все биохимические параметры зоны обитания активного нейрона на протяжении всего периода его тестирования остаются неизменными, правильнее сказать, «экологически валидными». Экстренно меняется лишь радиоактивная разметка постоянной по своему химическому составу среды. После прохождения фиксированного числа биоэлектрических импульсов (как правило, 1000 шт.), нейрон под-

вергают автордиографическому анализу дозы поглощенных им в определенную фазу генерации потенциала действия изотопов и установлению зон их последующего встраивания в микроструктуры клетки. Главный недостаток метода: случающиеся иногда взрывообразные разрушения очень хрупких стеклянных микропипеток, наполненных под давлением радиоактивными веществами (для здоровья экспериментатора это, как выяснилось, крайне вредно). Других ограничений нет. Метод универсален в отношении анализа любых химических субстратов, обуславливающих возникновение особого типа клеточного метаболизма – метаболизма действия.

^{*9} **Теория Дарвина.** В адрес этого общепризнанного достижения западной научной мысли вот уже полтора столетия не стихает поток острых критических замечаний. Наиболее серьезные из них, так или иначе, касаются проблемы возникновения «сочетанных мутаций». Дело в том, что большинство эволюционно закрепляемых в генотипе признаков могут возникать только как результат нескольких одновременно появляющихся в структуре молекулы ДНК спонтанных изменений, но никак не каждой из них в отдельности. Между тем, вероятность такой многовекторной генной модификации практически равна нулю. Отсюда вывод: формирование в ходе биогенеза каких-либо новых, реально полезных для организма свойств должно происходить каким-то иным («недарвиновским») способом. Каким?

В плане решения этого вопроса в середине 1990-х годов была высказана гипотеза о том, что закрепление комплексно полезных, но индивидуально бесполезных признаков происходит потому, что существует еще одна (неизвестная во времена Дарвина) директория реализации процесса эволюционного отбора. Связана она с явлением самораспада нуклеотидных полимеров – самораспада, которому противостоит комплекс механизмов их репарационной активности.

Особенностью этих механизмов является не только их универсальность, распространимость на всевозможные клеточные образования, но и постоянная внутренняя тенденция к саморазвитию. Даже в идеальных внешних условиях все равно происходит закрепление и тиражирование в последующих поколениях вызванных мутацией признаков, приобретение которых облегчает реализацию репарационных процессов. И, наоборот, появление любого нового свойства, затрудняющего построение последних, неизбежно приводит к гибели соответствующего клеточного образования, его вытеснению обладателями более совершенных механизмов самовосстановления двухцепочечных нуклеотидных полимеров.

Особый статус механизма репарации в отношении других передаваемых по наследству признаков обусловлен ещё и тем, что его действие охватывает все без исключения участки молекулы ДНК, которые

кодируют весь генотип/фенотип. И в этом проявляется исключительная - интегрирующая функция данного свойства. Элементы комплексной мутации вполне способны сохраняться в том случае, если они параллельно обеспечивают какое-то пусть даже весьма незначительное преимущество их обладателю в плане осуществления репарационных процессов. Яркий пример тому: появление в ходе биогенеза плазматической мембраны. С одной стороны это барьер, позволяющий клетке противостоять различным вредоносным для неё внешним воздействиям. А с другой – инструмент удержания рядом с молекулой ДНК вырабатываемых ею же молекулярно-биологических факторов, обеспечивающих реализацию репарационной активности.

Но это крайний случай проявления равнозначно двойной пользы, так сказать, и для внешнего, и для внутреннего предназначения. Значительно более важным с биогенетической точки зрения является то, что наличие фактора (рефрена) «внутренней борьбы за существование» позволяет накапливать неэффективные по-отдельности мутации как материал будущей комплексной (скачкообразной) перестройки генотипа.

*10

Способность нервных клеток объединяться в устойчивые по своему составу группы.

Сегодня уже не вызывает никаких сомнений тот факт, что когда мы ставим перед собой какую-либо задачу и приступаем к её решению, в структурах нашего мозга появляются особые, сложно организованные ансамбли согласованно работающих нервных клеток. Именно они и генерируют затем последовательности центральных команд, которые разрешаются на уровне двигательной периферии в форме целенаправленных действий.

Обоснованность этих представлений в настоящее время подтверждается результатами многочисленных нейрофизиологических исследований. Вроде бы уж здесь-то всё предельно ясно. Да?

- Нет!

Ещё в середине XIX века наш выдающийся соотечественник И.М.Сеченов провел серию уникальных экспериментов по изучению приспособительного поведения обезглавленных живых существ. Сказанное заслуживает того, чтобы повторить это ещё раз. Итак, речь идет об исследовании результативных («разумных» по словам самого Сеченова) действий у предварительно лишенных головы животных.

Что конкретно было установлено?

- Во-первых, то, что завершающаяся достижением полезного приспособительного эффекта реакция безголового организма на биологически отрицательное воздействие реализуется не всей совокупностью его мышц, а только определенной, избирательно мобилизованной их частью.

- Во-вторых, то, что такого рода избирательность определяется не просто конкретной точкой нанесения стимула, а «схемой тела», экстренное изменение которой, например, путем отсечения той или иной конечности, сразу же меняет паттерн морфо-функциональной параметризации действующих исполнительных структур.

- В-третьих, для построения этих невероятно сложных процессов головной мозг со всей его системой многочисленных межнейронных связей оказывается вообще не нужен. И схема тела, и процесс организации согласованной активности различных групп мышц формируются исключительно на каудальном уровне.

Если воспользоваться современной терминологией, то по результатам экспериментов И.М.Сеченова выходит следующее. Мотонейронам двигательных единиц, для того чтобы избирательно объединяться в ансамбли согласованно работающих элементов, вообще не нужно обладать множеством синаптических связей друг с другом. Для решения этой задачи им достаточно иметь такого рода контакты не между собой, а с пучком волокон, образующих общую для всех них мышцу. В этом случае начинает работать совершенно особый, **«конвергентный»** механизм интеграции. А именно, интеграции, организующим фактором которой становится периферический процесс (функция), а не центральные структуры мозга с их разветвленной сетью избирательно потенцированных синапсов. Другими словами, мы наблюдаем здесь феномен организации элементарных нейрофизиологических функций, накачиваемой негэнтропией не сверху, с уровня рецепторных полей и мозговых складов «моделей поведенческих актов» (по Швыркову-Александрову); а снизу, со стороны мышечных волокон (по Сеченову).

Особенность коллективного поведения нервных клеток в последнем случае указывает на возможность существования между ними экстраординарных, труднообъяснимых пока механизмов передачи информации. Причем, имеется в виду не какая-то мифическая экстрасенсорика торсионных полей. Речь идет о вполне конкретной форме информационно-поточковой организации, которая, тем не менее, сопровождается возникновением поразительного эффекта мгновенного, бесконтактного, дистантного межкомпонентного взаимодействия.

До сих пор мы продолжаем удивляться: каким образом при допотопных по сравнению с электронно-вычислительными машинами скоростях передачи информации от нейрона к нейрону наш мозг остается пока не достигаем по своим функциональным возможностям даже для самых современных суперкомпьютеров. В действительности происходит это потому, что между нервными клетками работает принципиально иной, так сказать, «эписинаптический» механизм информационного взаимодействия – механизм, который обеспечивает им практически мгновенную коммуникацию на любых расстояниях. И в этом нет никакой мистики. Речь, повторяю, идет о сугубо материальных процессах.

Для того чтобы разобраться в их сути, было решено провести серию объектно-ориентированных компьютерных исследований, воспроизводящих основные условия экспериментов И.М.Сеченова. Так сказать, прогнать через виртуальную аэродинамическую трубу самолет братьев Райт с целью объективного определения лётных качеств давно уже не существующей конструкции.

Результаты сравнительного анализа процессов, протекающих в децентрализованных функциональных системах по сравнению с централизованными, позволяют сделать следующий ряд выводов.

- Во-первых, морфологически объединенные друг с другом двигательные единицы действительно обладают способностью к самопроизвольному переходу в устойчивые высокоорганизованные состояния на основе механизма синергетического резонанса. Для этого им не нужны никакие специальные организующие их работу влияния. Единственным условием является наличие у каждой из них свойственной всему живому способности к оперантной детерминации своей активности.

- Во-вторых. Информация, которая непрерывно транслируется с уровня исполнительных структур в центр и обратно это не паттерн микроточечных информационных посылок, исходно поступающих с поля проприорецепторов – паттерн, который затем сложным логико-математическим способом обрабатывается некими интеллектуально одаренными центральными нейронами. На самом деле это суммарная информация об уровне текущей самоорганизации мышечных групп, которым затем будет адресовано командное воздействие, направленное вовсе не на исполнительные элементы, а на алгоритм спонтанно возникающей синхронизации их активности. Другими словами, центр не управляет работой отдельных двигательных единиц. Он имеет возможность влиять только на комплекс процессов их самоорганизации.

- В третьих. Готовые к выполнению действий нейро-миоцитные пары обладают фоновой импульсной активностью («тонусом»). Причем, средняя частота её в момент сокращения мышечной связки и до этого может оставаться на одном и том же уровне. Просто происходит перегруппировка потенциалов действия: их уплотнение, приходящееся на момент сокращения мышцы. Поэтому инициировать целенаправленное движение можно не только путем massированной активации периферии, но и деликатной (плавной) регулировкой уровня её собственных автоорганизационных процессов. При этом возникает поразительный феномен безинерционности построения двигательной функции.

- Другим побочным эффектом такого варианта взаимодействия головного мозга с двигательными единицами является появление у последних свойства психоуправляемости. Мысленно отдаваемая команда «согнуть палец!» сама по себе не способна вырабатывать никаких потенциалов действия. Точно также как мы не можем произвольно заставить клетки своей печени функционировать каким-то новым, желаемым

для нас (скажем, после обильного застолья) способом, мы не в состоянии сократить «усилием воли» и отдельное мышечное волокно или избирательно выбранную из всей мышечной массы их совокупность. Активация конкретных двигательных единиц всегда происходит столь же произвольно, как и работа клеток печени, почек, желез внутренней секреции...

Аналогично этому, в ходе целенаправленных действий именно с учетом факта принципиальной недоступности прямого управления единичными мышечными клетками и работает любая «волевая» центральная команда. Например, «взять со стола авторучку!». Действительно, попробуйте-ка отдать мысленную команду миоцитам №184, 38 и 214 своего бицепса на их синхронную избирательную активацию. Ясно, что из этого ничего не выйдет. А вот когда то же самое происходит при взятии со стола авторучки – с избирательностью никаких проблем нет! Поразительно, что едва ли не единственной управляющей функцией мозга здесь является: не дать процессу самоорганизации активности исполнительных элементов перерасти во всеобщий спазм.

- Все это можно сказать и другими словами.

Допустим, мы сформировали мысленную команду на активацию определенной двигательной единицы. Ну и что: возникнет необходимое мозговому центру движение исполнительного органа?

Понятно, что нет! Для этого необходимо синхронно активировать большое число таких единиц. Именно одновременно! А как это сделать?

Первый способ – подать массированный импульс возбуждения на всю совокупность миоцитов сразу. И это сработает. Правда, только с неизбежно следующей за этим габитуацией. В естественных условиях свободного поведения происходит нечто совершенно иное. В последнем случае двигательные единицы обладают не только фоновой импульсной активностью, но и способностью к её устойчивой автосинхронизации. Для этого никакого командного центра вообще не нужно. Он только мешает им довести их работу до логического конца (до мышечного спазма). В этом, собственно говоря, и состоит управляющая роль мозга, его тормозная функция по определению Сеченова: не дать структурам, способным к самоорганизации, дойти до точки полного падения в негэнтропийную яму... Не позволить им проявить весь арсенал своих возможностей перехода в максимально организованное состояние, на что они способны сами по себе, безо всяких командно-управляющих сигналов.

*11

Итак, **способность двигательных единиц к самоорганизации** на основе синергетического принципа взаимодействия. Да или нет?!

Как показали результаты проведенной в начале XXI века экспертизы, данный радикальный вывод, вытекающий по сути дела из работ И.М.Сеченова, к сожалению, находится в прямом противоречии с содержанием современных учебников, утвержденных Минобрнауки РФ. По

мнению специалистов этого солидного учреждения и «примкнувших к ним» членов президиума РАМН, никакой самоорганизации двигательных единиц, никакого управления работой центра с уровня периферии, никакого нейросинергизма в Природе нет и быть не может. А есть универсальный, единственно верный механизм рефлекторного возбуждения различных структур головного мозга особыми **пачками** биоэлектрических импульсов, генерируемых в недрах его определенных подкорковых зон. Именно оттуда, а не с периферии и расплзается затем по всему организму процесс формирования любой функциональной системы (даже у обезглавленных животных). Подвергать сомнению сей вердикт недопустимо, несмотря ни на какие самые весомые аргументы. Данную точку зрения следует просто принимать как истину в последней инстанции, а иначе тебе, сынок, «мало не покажется».

И действительно, когда на страницах Психологического журнала РАН была опубликована разгромная статья по пачечной теории организации функциональных систем, всё закончилось практически точно так же, как это делалось много десятилетий назад, во времена небезызвестной павловской сессии Академии наук (1951). А именно, автору критической публикации было предложено в течение одного календарного года пройти подряд три аттестационных комиссии с заранее подготовленным стандартным вердиктом: «несоответствие тематики проводимых исследований основным направлениям работы НИИНФ им.П.К.Анохина» Ну и альтернатива, прямо по Высоцкому: «ИЛИ-ИЛИ». Или светлый путь раскаявшегося в своих заблуждениях грешника (типа Галилея и К^о), или незавидная участь российского математика Григория Перельмана. Второй вариант был выбран аттестуемым как более предпочтительный...

*12

Организация социальных групп на основе принципа взаимосодействия.

Одним из самых удивительных свойств открытого П.К.Анохиным явления **взаимосодействия** системообразующих элементов с полным основанием можно считать их способность к генерации нематериальной (психической) реальности. Однако при этом вполне закономерно возникает вопрос. Если механизмы взаимосодействия действительно обладают таким качеством и действительно носят универсальный характер, то в какой мере это их свойство может проявляться и на уровне каких-то иных (не мозговых) субстратов? Например, в социальных системах, в форме некой наиндивидуальной детерминанты поведения коллектива людей, взаимосодействующих друг с другом для получения общего результата в рамках совместной трудовой деятельности?!

Данный вопрос представляется не настолько фантастическим, как это может на первый взгляд показаться. Вполне обоснованные предположения на сей счет стали высказываться довольно давно. Так, хорошо известно, что основоположник фундаментальной материалистиче-

ской философии – Карл Маркс – сформулировал разработанные им законы именно исходя из предположения о наличии в окружающем нас мире особой формы коллективной нематериальной реальности: реальности, которую он определил как сфера «общественного сознания». При этом и он сам, и многочисленные трактовщики его грандиозного научного наследия неоднократно подчеркивали, что «общественное сознание» не является простой суммой психик отдельных личностей. Это нечто качественно иное, возникающее непонятно откуда и витающее незнамо где.

Более того, и сама базовая формула диамата - «Сознание есть продукт высокоорганизованной материи» - никак не ограничивает зону действия данного утверждения только субстратом головного мозга человека. В роли полноценного заменителя такового могут выступать и будущие технические системы искусственного интеллекта, и мозг высших млекопитающих (таких, например, как шимпанзе по имени Аюму), и еще бог весть что... Скажем, разумный океан «Солярис» Станислава Лема.

В плане объективного рассмотрения данного круга вопросов в начале 2000-х годов была проведена серия специальных экспериментов по изучению способности человека эффективно взаимодействовать с партнерами, входящими в состав группы, формируемой для решения определенных задач когнитивной направленности. Изложение деталей этих опытов выходит за формат очерка. Здесь имеет смысл привести лишь общий вывод, который был сделан по результатам выполненных исследований. А состоит он в том, что при достижении определенной «плотности» взаимодействия между операторами, занятыми решением одной и той же задачи с единичными начальными и конечными условиями действительно возникает ряд довольно странных психофизиологических явлений. Характерной их особенностью является не только появление идеальных надкомпонентных переменных, не зафиксированных ни на каких материальных носителях, но, вместе с тем, оказывающих кинестетически выраженное направляющее влияние на действия операторов. Не менее примечательно и то, что возникающий столь экзотическим образом (по сути дела, путем компьютерного спиритизма) инструмент управления коллективно-индивидуальным поведением уже перестает быть продуктом специальной подготовительной стадии: стадии афферентного синтеза и принятия решения. Непрерывно идущим процессом его формирования становится само исполнительное действие.

В целом, анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что фактор наиндивидуального (коллективного) сознания является значительно менее абстрактной научной категорией, чем хотелось бы об этом думать. Весьма вероятно, что Карл Маркс в своей приверженности идее глобального социоструктурализма был прав, и мы действительно живем в мире, в котором возможно появление неких неподконтрольных никому сверхразумных сил. Понять и спрогнозировать логику их активности отдельный человек не в состоянии, ибо не по их

замыслу он был создан. Мы в этом плане, скорее, чем-то напоминаем снующих по глобусу тараканов, которые не знают, что кроме двух измерений, есть еще и третье. А между тем, как раз именно оттуда им и светит презентация волшебного пальца, который своим щелчком способен радикальным образом изменить всю их дальнейшую судьбу.

*13 Возможно здесь более уместным (во всяком случае, менее обидным) было бы сравнение людей не с тараканами, а с другими представителями мира живой Природы - с системоспецифичными нейронами мозга. То есть, с особыми нервными клетками, которые, проявляя паразитическую осведомленность относительно событий, происходящих в окружающем родной организм мире, в то же время, ничего не знают о самом факте его существования. Их удел – всю жизнь пребывать в питательном бульоне, из которого они иногда получают, а иногда нет разные биологически активные вещества. Даже загадочное информационное межнейронное взаимодействие, с которым сегодня так носятся неуёмные разработчики систем искусственного интеллекта, осуществляется не импульсами тока (как в их компьютерах), а абсолютно чуждыми фантазии радиоинженерной мысли химическими субстратами.

Сравнение с системоспецифичными нейронами является более продуктивным еще и потому, что такая параллель сразу же выводит на постановку одной из центральных проблем современной психофизиологии - **проблему формирования различных иерархически организованных комплексов функциональных систем (ФС)**.

Актуальность данного вопроса вполне понятна. Как известно, предлагая схему внутренней операциональной архитектоники ФС, П.К.Анохин, одновременно с этим констатировал факт её не полного соответствия реальной поведенческой активности человека и животных. И это действительно так, ибо любая форма поведения всегда связана с развертыванием не какой-то одной определенной функциональной системы, а более-менее сложно организованного их комплекса. Последний же формируется как совокупность субсистем, объединение которых происходит по универсальному закону: «иерархия систем \equiv иерархия их результатов».

Это означает, что каждая новая суперсистема образуется не путем «перемешивания» узловых механизмов входящих в неё суб-образований. Каждое из них сохраняется в своем первоначальном виде как некий неделимый «квант». Процедуре интеграции подвергаются исключительно выдаваемые такими системоквантами результаты.

В наиболее последовательной форме эти представления получили свое воплощение в рамках «принципа иерархического квантования поведения» [Судаков К., 1996] и, так называемой, геномно-селекционной теории В.Б.Швыркова [1985] с её базовым императивом: «**один нейрон («нейроквант») \leftrightarrow одна неделимая функциональная система**».

Между тем, если обратиться к экспериментам по изучению группового взаимосвязанного поведения людей, становится очевидной несостоятельность (как минимум не универсальность) такой точки зрения. Как показывают полученные здесь данные, объединение субсистем через интеграцию их результатов является хотя и необходимым, но ещё не достаточным условием построения эффективной суперсистемы. Это особенно отчетливо наблюдается на стадии реализации её исполнительного действия, когда «в игру» вступает дополнительный фактор, «цементирующий» новое функциональное образование – фактор, который качественным образом отличается от всего того, что фигурирует в классическом сценарии построения ФС. Можно сказать и так: процесс интеграции субсистем в данном случае не сводится только лишь к суммированию их результатов. Возникает ещё один (впечатляющий своей нематериальной сущностью) модератор интеграционной активности.

Сразу же напрашивается вопрос, а не происходит ли нечто подобное и на уровне нейронных сетей, в которых в качестве системообразующих элементов выступают объединения нервных клеток, имеющих сходную форму поведенческой специализации?

На наш взгляд, сегодня достаточно четко вырисовывается положительный ответ на этот вопрос. В связи с этим стоит вспомнить, что благодаря титаническим усилиям советских ученых-психологов ими был разработан базовый алгоритм решения психофизиологической проблемы. Смысл его сводится к довольно-таки простой формуле. «Материальную основу психики в любых формах её проявления составляют **процессы организации элементарных нейрофизиологических функций**».

Всячески приветствуя такую коннотацию (ОВФ*), её, на наш взгляд, все же необходимо дополнить следующим принципиально важным уточнением. Речь в данном случае нужно вести не о любых, а об особых, исключительных сценариях перехода нейромозгового субстрата в его более высокоорганизованное состояние. Конкретно: здесь правильнее говорить о процессах функционального объединения субсистем нейронного уровня, которые подобно отдельным системообразующим элементам способны к полноценному взаимодействию друг с другом в качестве самостоятельных («надэлементарных») единиц интеграционной активности. Именно таким путем разного рода нематериальная сущность и начинает вылезать на свет божий из непонятно откуда. Именно в этом, как мы полагаем, и следует искать разгадку трудноуловимых пока механизмов психики и всего того, что с нею связано**.

* **Прим.** ОВФ = «Основной вопрос философии».

****Прим.** Что касается технических устройств, реализующих сходную «дорожную карту», то их удалось материализовать в 2011-2013 гг. Тогда же было высказано и предположение о возможности создания на такой основе не только биоподобных систем искусственного интеллекта, но и конгруэнтных им мозгомашинных интерфейсов, работающих по схеме конвергентного взаимодействия (объединенного синергетического резонирования) их базовых элементов с системоспецифичными нейронами мозга в момент «психогенерации» такими клетками субъективных образов объективного мира.

*14 **ПЕРСПЕКТИВЫ «ВСІ»ЭВОЛЮЦИИ РАЗУМНЫХ ФОРМ ЖИЗНИ**

Судя по сообщениям средств массовой информации, сегодня во многих лабораториях разных стран мира проводятся широкомасштабные научные исследования, направленные на разработку, так называемых, мозгомашинных интерфейсов («brain computer interface, BCI»). Говоря простым языком, речь идет о попытке создания электронных устройств, которые должны позволить человеку, используя колоссальный арсенал организационных возможностей его мозга, реализовать функцию прямого (не опосредованного двигательной активностью) интеллектуального биоуправления различными техническими системами.

Актуальность поставленной задачи не вызывает никаких сомнений. Неслучайно, на её решение сейчас выделяются огромные средства, в том числе, и по линии военных ведомств. Но вот каков реальный результат? Насколько разработчикам данного проекта удалось приблизиться к достижению намеченной цели? Действительно ли появление подобных устройств является делом ближайшего будущего?

Правильный ряд ответов: нет, нет, нет! И вот почему.

Одна из основных причин сложившейся здесь откровенно тупиковой ситуации состоит в том, что до сих пор открытым остается самый главный вопрос, а именно, способен ли человеческий мозг вообще чем-либо управлять? Может ли этот орган формировать системы команд, вызывающих эффективные поведенческие ответы каких бы то ни было исполнительных структур: неважно, биологических, технических или социальных?

Фундаментальный уровень актуальности этой проблемы впервые был четко обозначен еще в середине 1930-х годов в работах выдающегося советского физиолога Н.А.Бернштейна. Выводы его исследований хорошо известны. Они не оставляют никаких сомнений в том, что мозг сам по себе не способен к решению подобных управленческих задач, оставаясь в рамках нормальной физиологии своего функционирования. Причем, имеются в виду не только командные, но и корректирующие поведенческую активность человека и животных центральные посылки (более подробно об этом см. Л.Бобровников, 2013).

Но ведь для чего-то мозг всё-таки нужен. Для чего? Только чтобы им думать-думать? А животным, которые делать это не умеют, да, в общем-то, и не хотят – им-то он зачем? Причем, неразумных мозгообладателей в живой Природе пока ещё намного больше, чем нас. Несмотря на все наши многовековые старания от них избавиться.

Обращает на себя внимание и тот факт, что по уровню совершенства выполняемых животными двигательных актов они ничуть не уступают, а во многом и превосходят человека даже при полном отсутствии у некоторых из них мозгового субстрата. В качестве наиболее яркого при-

мера - поведение обезглавленной курицы, которая грациозно носится по птичьему двору, прежде чем попасть в суп хозяина. Тот, кому хоть раз довелось видеть это жутковатое зрелище, поймет, о чем идет речь. Изящество и поразительная гармоничность организации двигательной активности оставшейся неповрежденной части несчастной птицы неизбежно наводит на мысль о том, что, то же самое вполне может быть реализуемо безголовыми представителями других биологических видов.

Ну и вопрос, конечно, сразу напрашивается: а к чему, собственно говоря, нужно подключать этот самый ВСІ в подобных случаях? Т.е. чтобы курообразное исполнительное квазиустройство смогло проделывать те же самые кульбиты... К отделенной от туловища, лежащей на земле голове? И как можно объяснить удивительную феноменологию «разумного» (по определению И.М.Сеченова) поведения обезглавленных им других живых существ?

НЕЙРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ ОТВЕТ ПРОБЛЕМНОМУ ВЫЗЫВУ «ВСІ»

Есть такая наука – нейробиология. Наука нынче очень популярная. Согласно развиваемым в ней представлениям все базовые свойства головного мозга, да и самой нервной системы в целом не были созданы всемирно известным творцом всего сущего. Они были унаследованы от тех биологических образований, которые присутствовали на нашей планете задолго до появления на ней первых нервных клеток. Не менее важно и другое. А именно, что это же заключение в полной мере относится и к тем целевым структурам, с которыми такие предмозговые образования были ассоциированы в рамках их совместной центрально-периферической деятельности. В общем, они тоже кое-что унаследовали от своей предтечи. Что конкретно имеется в виду?

Самое главное – это наличие у любой из якобы управляемых будущей ЦНС биологических структур развитого инструментария самоорганизации образующих их клеточных элементов. Как следствие: вывод о том, что ЦНС со всеми её отделами появилась в ходе биогенеза вовсе даже не как инструмент управления теми или иными органами, не как фактор организации их работы «сверху». Они и без мозга прекрасно справлялись с решением такого рода задач.

Произошло нечто совершенно иное. Что именно?

Здесь возможно проведение такой аналогии.

Умный начальник, когда приходит на руководящую должность в новый для него коллектив, понимает, что выполнять свою командную функцию ему придется, взаимодействуя с социальной структурой, которая уже обладает самостоятельным потенциалом эффективной самоорганизации. А, значит, формировать свои команды руководитель будет вынужден, имея в виду наличие самоорганизационного фактора, активно действующего, так сказать, «снизу». Более того, если считать, что главной задачей его управляющих команд является функция организации работы коллектива, получается, что здесь реально должно иметь место

взаимодействие (правильнее сказать, взаимодейсдействие) двух качественно различных орг. начал (сверху-снизу).

То же самое мозг. И фило-, и онтогенетически он появляется, когда в окружающем его мире уже существуют прекрасно работающие на основе принципа самоорганизации эффекторные системы. Поэтому проблемы у мозга возникают в точности такие же, как и у начальника-человека. Соответственно, исходным этапом взаимодействия исполнительных органов с головным мозгом становится процесс выяснения последним потенциальных возможностей периферии к решению различных задач самоорганизационного профиля. Именно на их корректировку и будет направлено затем командное воздействие со стороны центра. Не на активацию отдельных двигательных единиц, не на процесс их предсказуемой микроточечной рефлексии по детально разработанному центром сценарию, а на трансформацию уже случившегося «снизу» организационного прецедента. Пока такового нет (нет «функционального органа индивида» по А.Леонтьеву), то и управлять «сверху» просто нечем.

Сегодня даже малоталантливому экспериментатору вполне реально повторить следующий опыт. Вживить в ростральный сегмент мышечной системы руки человека пучок микроэлектродов, вывести регистрируемую с них многоканальную миограмму на экран монитора, а затем предложить испытуемому «усилием воли» осуществить избирательную перестройку активности нескольких двигательных единиц. Сначала одной компактной их группы, потом – другой и т.д. Но именно строго избирательно, а не “an mass”. Причем, не используя для этого в качестве инструмента фактор движения своей руки.

Даже после специальной продолжительной тренировки никто из людей, как выяснилось, не в состоянии справиться с решением поставленной перед ним задачи. Однако, если сконнектировать вживленный таким способом микроэлектродный пучок с многоканальным же миостимулятором, работающим по принципу автогенерации квантосинергетического резонанса его элементов, то используя даже суммарное («грубо-модулирующее») ЭЭГ-управление этим процессом, возможно добиться желаемого эффекта. Т.е. воспроизвести феномен избирательной активации «силой мысли» строго определенного нейромиоцитарного паттерна. В результате возникает эффект тонко дифференцированного движения конечности [Бобровников Л., 2004].

Отсюда можно сделать вывод о том, что человеческая мысль на самом деле очень сильно ограничена в своих возможностях воздействовать на что-либо командным способом. Она может управлять только такими исполнительными структурами, элементы которых способны к полноценной самоорганизации и без её участия. Мысль может оказывать исключительно модулирующее влияние на разного рода автоорганизационные процессы и только на них. Если их нет или они ещё не успели пробудиться у спящего целевого субстрата, потенциально способного к

самостоятельному переходу в низкоэнтропийное состояние, никакой «мысли» здесь делать нечего.

Именно на стыке формируемой снизу организации (правильнее сказать «самоорганизации»), вкупе с её вторичной проекцией, порождаемой мозговым субстратом, и возникает то, что мы сможем потом назвать в своих научных отчетах полноценной разработкой технологии VCI. Все вышесказанное заставляет по-новому оценить базовые проблемы в создании мозгомашинных интерфейсов.

- Любые генерируемые в ЦНС человека и животных потоки биоэлектрических сигналов на самом деле не являются специализированными инструментами управления работой мышц, также как и управления любыми другими протекающими в организме физиологическими процессами. Сегодня уже не вызывает сомнений, что мозг человека и животных появился в ходе биогенеза со значительным опозданием по отношению к тем органам, на управление которыми он якобы был предназначен. Но не это главное. Значительно более важным является то, что указанные «целевые» структуры на тот момент уже обладали хорошо развитыми инструментами самоорганизации образующих их элементов.

- Это же заключение относится и к более сложным (психофизиологическим) функциям мозга. Прежде всего, имеется в виду отказ от упрощенной линейной схемы их реализации: «мысль→ эффекторная команда→ исполнитель». Сам феномен мысли в головном мозге появляется только в том случае, когда на уровне исполнительного звена периферии уже случился процесс самоорганизации, пусть даже и в очень упрощенной форме.

- Теперь, что касается двигательных аспектов реализации VCI систем. Да, действительно, не только человек, но и множество других живых существ демонстрируют широчайший арсенал поразительно тонко организованных движений. Однако ни одно из них не может быть закодировано в рамках системы центральных нейрофизиологических сигналов, транслируемых из ЦНС на уровень исполнительной периферии. Именно поэтому регистрация таких сигналов с целью последующего построения на их основе полноценных VCI не имеет ни малейшего смысла. Другими словами, создание подобных систем не возможно потому, что принципиально невозможной является реализация командной функции ЦНС в отношении вообще чего бы то ни было. Имеются в виду любые периферические органы: не важно - это биологические или технические исполнительные структуры.

- Решение проблемы - разработка принципиально новых типов компьютерных систем, базовые элементы которых должны быть наделены функций системной самоорганизации. Отказ от кибернетических подходов к моделированию нейромозговых процессов в пользу синергетически окармливаемых их прототипов, взятых из реальных наблюдений за живой Природой, а не высосанных из Питс-Маккаловского... пальца.

*15 **«ПРОСТРАНСТВО СМЫСЛОВ» И МЕХАНИЗМЫ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ**

Уже в самом начале проведения микроэлектродных исследований системоспецифичных нейронов мозга нейрофизиологи столкнулись с одним чрезвычайно интересным, но труднообъяснимым фактом. Речь идет о наличии у многих регистрируемых в условиях свободного поведения нервных клеток ярко выраженной взаимосвязи их активности с различными абстрактными (смысловыми, символическими, знаковыми) атрибутами целенаправленной деятельности человека и животных.

Почему именно сегодня это вызывает такой большой интерес?

А дело вот в чем...

Наблюдаемый в настоящее время бум в области создания компьютерных систем искусственного интеллекта (**ИИ**) привел наиболее дальновидных разработчиков подобных устройств к заключению о том, что предлагаемые ныне технические решения на самом деле не имеют никакого отношения к интеллекту человека. То есть – вообще никакого! Даже близко называться этим словом они не могут.

Довольно отчетливо вырисовывается и главное отличие биологического интеллекта от делаемых на него сегодня технических пародий. Взять, к примеру, имитатор разумного мозга - шахматный компьютер, который способен фиксировать в памяти своей элементной базы многие тысячи ранее разыгранных кем-то, когда-то партий. Это позволяет данному устройству выбирать затем из несусветного пула имеющейся у него энграммной конкретики один вариант наиболее эффективного текущего хода. Как выяснилось, таким незамысловатым путем вполне реально победить даже титулованного гроссмейстера. Но можно ли отсюда сделать вывод о наличии у подобных технических систем способности к интеллектуальной деятельности?

На первый взгляд – да. Ведь шахматист в отличие, например, от боксера, противопоставит компьютеру именно силой своего разума, а не чем-то иным. Разум против разума, интеллект против интеллекта. Вроде бы очевидный вариант реализации теста Тьюринга в шахматной форме.

На самом деле ничего подобного в данном случае не происходит. Человек и компьютер противодействуют друг другу совершенно разными способами. И главное отличие состоит в том, что при выборе очередного хода шахматист оперирует не конкретикой множества предыдущих, запомненных им игр, а неким малопонятным пока для психофизиологов обобщенным («гештальтным») содержанием всей разыгрываемой партии в целом, вкупе с многочисленными вариантами её не менее холлически оприходованных прототипов. Поэтому, в отличие от современных систем искусственного квазиинтеллекта, их биологическому прародителю, строго говоря, нет необходимости набивать свою память миллионами вариантов всевозможных решений той или иной задачи. Естественный интеллект этого не делает, поскольку функционирует в

рамках совершенно иной логической парадигмы, суть которой сводится к работе в «пространстве смыслов», а не в сфере бездумного перелопачивания массы предельно упрощенной когнитивной конкретики.

То, что у каждого человека такое смысловое пространство есть и именно оно порождает уникальный феномен его индивидуального «Я», уже не вызывает никаких сомнений. Весь вопрос только в том, как оно возникает, возможна ли его реконструкция вне мозгового субстрата и как все это связано с явлением системной специализации нейронов мозга.

Может показаться, что некая единая точка зрения на сей счет сегодня уже присутствует. Суть её сводится к следующему. Любые знаковые, символичные, абстрактные формы чего бы то ни было, всегда вырастают в ходе процедуры логико-словесного обобщения тех или иных параметров нативной перцепции. Вершиной такого рода деятельности как раз и становится возникновение «пространства смыслов».

Прим. Знак, символ, смысл, абстрактный образ – в современной психологии все эти понятия имеют разное содержание и, соответственно, определяются также по-разному. Однако при всех различиях у них есть и принципиально важный «общий знаменатель». А именно, все они являются порождением одной и той же процедуры: процесса обобщения результатов перцептивных действий, связанных с восприятием определенного ряда объектов внешнего мира.

Итак, **обобщение**. Что это такое?

Типичный пример. На уроке математики учитель рисует на доске треугольник. Затем рядом с ним другой, отличающийся от первого размерами, затем третий, уже с другими внутренними углами и т.д. После чего **звучат слова** одобренного Минобрнауки вердикта: все эти фигуры, дети, несмотря на их очевидные различия, относятся к одной и той же обобщенной знаковой форме, которую люди договорились называть треугольниками. Ну а уже потом, вне школьных стен к этому абстрактному образу каждый самостоятельно начинает добавлять массу новой конкретики, например, «любовные треугольники», Бермудский треугольник (который, строго говоря, таковым вообще не является) и т.п. Но все это и многое другое становится производным именно изначальной логической конструкции, основа которой была заложена **ключевым словом**, произнесенным когда-то учителем в контексте определенного, произведенного им же у школьной доски когнитивного действия.

Эту мысль весьма выразительно, на наш взгляд, сформулировал Л.С.Выгодский. «Слово, писал он, - всегда относится не к одному какому-нибудь отдельному предмету, но к целой группе или к целому классу предметов. В силу этого каждое слово представляет собой скрытое обобщение, всякое слово уже обобщает, и с психологической точки зрения значение слова прежде всего представляет собой обобщение. Но обобщение, как это легко видеть, есть чрезвычайный словесный **акт мысли**, отражающий действительность совершенно иначе, чем она отражается в непосредственных ощущениях и восприятиях».

Применительно к рассматриваемому нами случаю «акт мысли», который придает слову функцию обобщения, есть не что иное, как процесс его точного математического определения. Например, по словарю Ожегова (для простоты интерпретации): «треугольником называется геометрическая фигура многоугольник с тремя углами, а также всякий предмет, устройство такой формы». Многоугольник, соответственно, – это «геометрическая фигура, ограниченная замкнутой ломаной линией».

Замечательно! Но ведь все эти детали декларируемого определения нужно ещё и увидеть. А это весьма непростая задача. Действительно, ставшие уже классическими опыты по изучению восприятия фиксированных на сетчатке зрительных проекций говорят следующее. Для того чтобы получить информацию о параметрах того или иного объекта, рецепторное поле относительно него вначале нужно непременно «подвигать». Согласно же базовому принципу общей теории функциональных систем - принципу взаимодействия - заставить мышцы рецепторных полей сокращаться и само поле двигаться можно только в ходе самоорганизации соответствующих двигательных единиц. Итогом этого градуально нарастающего процесса как раз и становится эффект актуализации структуры проприоцепторного поля, а также синаптически связанных с ним полей других сенсорных модальностей.

Соответственно, тот или иной объект (в нашем случае это треугольник) на первом этапе обнаруживается лишь как некая изначально неопредмеченная структурно-полевая аномалия. Происходящий затем процесс её конкретизации реализуется по характеру её принадлежности вовсе не группе треугольников, а, с геометрической точки зрения, вообще непонятно чему. Но классификационный акт, тем не менее, происходит. Потом, это же повторяется при рассматривании второго треугольника и т.д. И когда, наконец, учитель пытается озвучить свой вердикт, никакой классификации в соответствии с общепринятым определением слова «треугольник» на самом деле не совершается, ибо все это уже случилось намного раньше, да и к тому же, не по схеме Минобрнауки.

Таким образом, ключ к ответу на поставленный выше ряд вопросов – представления о двигательно-активном характере восприятия различных объектов внешней среды: что-либо воспринимать могут лишь рецепторные поля, находящиеся в фазе активного движения. Последнее же становится возможным только в результате развития процесса самоорганизации двигательных единиц. Другими словами, для того чтобы мышцы получили возможность передвигать вверенное им рецепторное поле, они должны вначале пройти стадию первичной самосборки - превратиться из неорганизованной массы «спящих» элементов в «функциональный орган индивида» по определению А.Н.Леонтьева.

Именно в ходе развертывания данного процесса на уровне моторики сенсорных систем и возникает явление перцепции структурно-полевых параметров окружающего мира с выделением в нем неких ком-

плексных (обобщенных) характеристик. Решающим фактором здесь является градуальность нарастания уровня согласованности работы отдельных исполнительных элементов. Постепенно возникающий у них тонус это не результат безадресной «равномерной» стимуляции «мозговым центром» всех без исключения мышечных волокон. На самом деле это уникальный, тонко дифференцированный автоорганизационный процесс, который оказывается разным в разных жизненных ситуациях.

Особенно ярко это проявляется в экспериментах по изучению приспособительного поведения обезглавленных живых существ (И.М.Сеченов, 1866). Стоит напомнить, что в этих опытах вместе с головным мозгом полностью удалялись также и все основные сенсорные системы: зрительная, обонятельная, слуховая, вкусовая, вестибулярная. А, заодно, ликвидировался и весь пул, так называемых, «нейронов запаса» (см. об этом ниже). Но, несмотря на это, обобщательная функция оставшейся части организма – её способность к построению схемы тела и объективизации в ней местонахождения биологически отрицательных воздействий - сохранялась. Какова же в таком случае роль головного мозга? Ведь что-то в более естественных ситуациях происходит и у нормального организма на уровне его центральных нейронных сетей?

На наш взгляд, здесь нельзя не согласиться с точкой зрения В.Б.Швыркова о том, что любые формы поведения человека и животных всегда неразрывно связаны с наличием в их мозговых структурах сложно специализированных нервных клеток, которые являются полноценными представителями тех или иных функциональных систем организменного уровня. Но дело в том, что появление таких клеток происходит отнюдь не путем мобилизации изначально «молчащих нейронов запаса», как считал В.Швырков. Результаты проведенных за последние годы многочисленных нейрофизиологических исследований позволяют сегодня утверждать, что универсальным фондом формирования будущих системоспецифичных нервных клеток на самом деле являются фоновоактивные мотонейроны двигательной периферии. Т.е. речь идет о тех самых исполнительных структурах, которые в опытах И.М.Сеченова отчетливо демонстрируют свою автономную от головного мозга (делеглируемую ими ему «снизу» как априорную данность) способность к самоорганизации в рамках процесса формирования схемы («поля») тела. «Молчащие» же нейроны по определению никому ничего делегировать не могут. На это способны лишь нейромиоцитарные элементы исполнительных структур. Особого внимания в этом плане заслуживает иницилируемый ими процесс системной реинкарнации нервных клеток всех уровней пирамидного тракта, включая и, так называемые, командные нейроны мозга.

Именно такого рода реинкарнацией и занимаются музыканты или спортсмены-гимнасты, оттачивая свое исполнительское мастерство в ходе бесконечных тренировок. Достаточно хотя бы немного поговорить с любым из них, чтобы понять: невероятно высокие уровни организации

нейрофизиологических функций, которые они демонстрируют во время своих выступлений, достигаются ими отнюдь не путем вербального наполнения головного мозга набором специальных инструкций (чего и как разным структурам организма следует делать). Основным источником становления уникальной поведенческой активности таких людей является их изнуряемый нескончаемыми тренировками двигательный аппарат.

Если говорить об обычных животных человекообразного типа, то решающую роль здесь играют центрально-периферические элементы их речевой системы. Только благодаря способности соответствующих двигательных единиц к тонко дифференцированному взаимодействию друг с другом через реализацию общей для всех них голосовой функции и возникает эффект функциональной знаковозависимости нервных клеток. Это же заключение относится и к явлению смыслового пространства, которое вырастает именно с уровня двигательной периферии, а не формируется путем инициации у «молчащих нейронов запаса» особых «смыслоспецифических» паттернов активности.

*16 ПРОСТРАНСТВО СМЫСЛА ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ЖИЗНИ

Говоря о способности к формированию абстрактных, знаковых, символических форм из материала нативной перцепции, необходимо ещё раз подчеркнуть, что это не есть некое особое умение, которое человек приобретает в школе или в университете. Это базовое врожденное качество, которому вовсе даже не нужно специально учиться. Оно наследуется каждым представителем рода *Homo sapiens* от своих предков.

Более того, сегодня есть все основания считать, что аналогичная этому свойству холщическая форма мировосприятия присуща и всем другим видам живых существ. Наличие у них этого «божественного дара» обусловлено двигательным характером организации активности любых сенсорных систем. Разница между человеком и животными в этом плане носит скорее не качественный, а количественный характер и отражается лишь в уровне глобальности формируемых пространственно-временных гештальтов. Правда, наличие такого преимущества много радости в жизнь людей не приносит. И вот почему...

Дело в том, что Природа, наделив человека в отличие от животных уникальным механизмом **сознания**, сыграла с ним злую шутку. Действительно, сделав его вершиной биологической эволюции, своего рода безусловным победителем всеобщей борьбы за выживание, она, как бы в наказание за это, облагодетельствовала людей даром коллективного знания жизни. А знание это из поколения в поколение передает «убийственную» информацию: **факт неизбежности смерти**.

Животные, например, медведи, дельфины, обезьяны, также как и люди, уделяют много времени обучению своих детенышей. Но они не способны в рамках сформированного ими на протяжении многих веков пула внутривидовых «совместных знаний» передавать информацию о

неизбежности конца каждого из них. И животным в этом отношении сильно повезло. А вот человеку – нет.

Действительно. Человек. Венец эволюции органического мира, а, значит, безусловный победитель в жесточайшей борьбе за существование, за право жить и размножаться на этой земле, безжалостно истребляя всех других, в том числе и себе подобных. И в основе этой борьбы – стремление любой ценой сохранить свою индивидуальную жизнь, как залог выживания всего биологического вида в целом.

Ну, победил. Ну, уничтожил всех своих конкурентов. А что получил в итоге?

А в результате «старшие товарищи по разуму» тебе говорят: здря старался, дорогой. Из этой твоей затеи все равно ничего не получится. Ждет тебя, как и тех, кого ты со своими пращурами зверски понаистреблял, одно – смерть... Если вдуматься, то речь идет о передаче окончательного и не подлежащего обжалованию вердикта, констатирующего невозможность решения человеком того самого главного биологического императива, за обладание которым он многие тысячи лет упорно боролся с триллионами других живых существ. Боролся и вроде бы даже победил. Но, как выяснилось, победил только для того, чтобы в итоге уяснить, что игра на самом деле «не стоит свеч», ибо реальных победителей в этом соревновании нет и быть не может. Выходит, наш биологический вид возник для того, чтобы засвидетельствовать факт порочности самого базового эволюционного принципа организации жизни на планете Земля: закона выживания&неизбежной гибели на ней всех наиболее приспособленных особей?

Именно здесь, в этой откровенно фрустрационной «зачатке» рода человеческого (в отсутствии биологического смысла индивидуальной жизни) и лежит тот самый дьявольский ключ к объяснению многих сложных социальных катаклизмов всех времен и народов. И до сих пор людям удалось найти только один-единственный разумный путь разрешения этой глобальной проблемы. Называется он мировая религия, в основе каждой из версий которой лежит одна и та же незамысловатая идея – идея существования бессмертной человеческой души с возможностью её, так называемого, «спасения».

Мысль очень простая. Тело – смертно. Отрицать это глупо. Если сомневаешься, можешь сам буквально по дням в деталях рассмотреть весь процесс разложения человеческой плоти после её смерти. Сегодня в интернете и такие фильмы есть. Но вот о том, что при этом происходит с нашей душой, которой светит Перспектива Вечности, авторы подобных видеороликов умалчивают. А, между тем, вопрос этот крайне важен. Ведь если душа действительно существует, получается, что основное, унаследованное от наших биологических предшественников стремление к выживанию любой ценой, слава богу, всё же оказывается реализуемым. Пусть не в телесной, а в духовной форме; пусть не индивидуально,

а лишь в коллективе неких человекообразных эфемерных субстанций, но главное - реализуемо! А, значит, пространство смысла все-таки способно охватывать своим содержанием даже такую чувствительную сферу масштабной психофизиологической реальности как весь исторический период существования каждого отдельного человека в этом мире.

Примечательно, что подобные идеи порождались всеми, зачастую полностью изолированными друг от друга человеческими сообществами. Более того, никакого другого варианта разрешения указанной фрустрационной ситуации до сих пор найти не удалось. Поэтому не удивительно, что многие даже весьма образованные люди продолжают в это искренне верить. А что ещё им остается? Ведь серьезной альтернативы никто вроде бы пока не предлагал?

Хотя.. Весьма вероятно, что сегодня она уже существует.

*17

**ВОЗМОЖНА ЛИ РЕКОНСТРУКЦИЯ «ПРОСТРАНСТВА СМЫСЛОВ»
ВНЕ ПОРОЖДАЮЩЕГО ЕГО НЕЙРОМОЗГОВОГО СУБСТРАТА?**

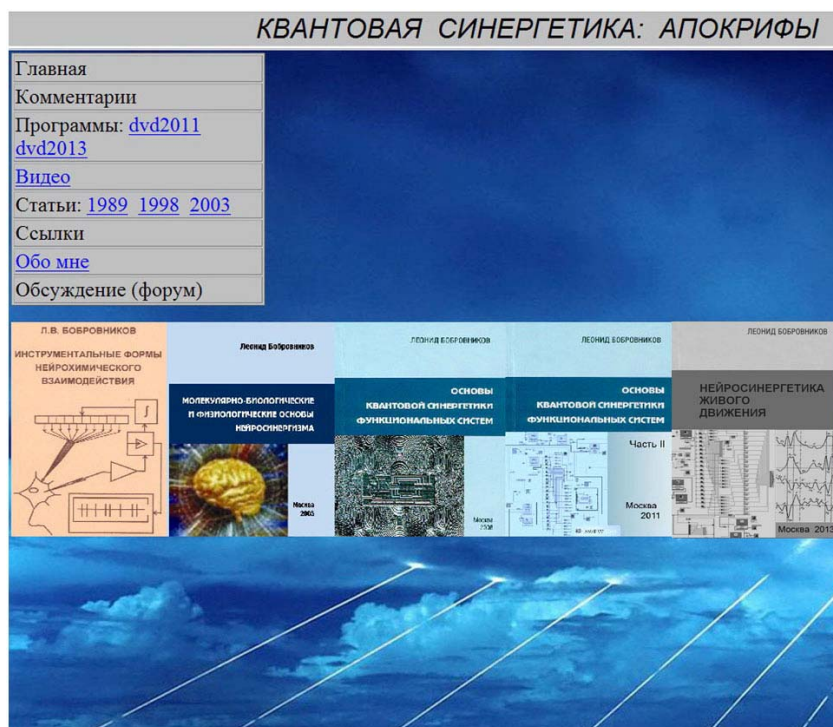
Рубеж XX и XXI веков. Неисключено, что в историю человеческой цивилизации этот временной период навсегда войдет как эпоха широкомасштабного внедрения во все сферы жизни людей различных информационных технологий. Впрочем, процесс этот продолжается и сегодня. Каждый день появляются все новые и новые технические устройства для реализации подобных систем. Объектом обработки и передачи в них данных, соответственно, становятся стремительно усложняющиеся пакеты информационного беспредела.

К чему все это в конце-концов приведет? Не станет ли результатом происходящего на наших глазах нового витка научно-технической революции создание устройств, которые откроют возможность передачи не только наборов конкретных информационных сообщений, но и самого «пространства смыслов» (о чем выше шла речь)? Другими словами, можно ли ожидать в ближайшем будущем включение в зону действия информационных технологий обмен данными, которые напрямую кодируют смысловые параметры когнитивного контекста? И, если да, то реально ли на такой основе создание принципиально иных форм интеллектуального взаимодействия людей на основе механизма функционального объединения их индивидуальных смысловых пространств?

Итак, «пространство смыслов»: возможные механизмы его ретрансляции, реинтеграции и коллективной экстерноризации...

Более подробное рассмотрение всего круга обсуждаемых вопросов можно найти по адресу:

http://leonid-bobrovnikov.narod.ru/moi_veb-uzly.rar



Прим. Папки с программами, написанными на языке LabVIEW-2010, сначала необходимо раскрыть (опция «извлечь»), например, на C:\ или D:\. В противном случае при загрузке некоторых VI-приборов (правильнее сказать, установок для проведения математических компьютерных экспериментов) система будет периодически требовать от вас указания конкретных путей к отдельным файлам прилагаемого soft`а.

Прим. Еще один важный момент. В монографиях 2011, 2013 гг. описано поведение биотехнических функциональных vi-систем, которое наблюдается у них в случае использования в качестве реализационной базы именно одноядерных компьютеров. В этом случае **принцип взаимосОдействия** системообразующих элементов на достижение ими **общего (единого для всех них) результата** проявляется в наиболее естественной форме, которая не предполагает непредсказуемого влияния на процесс самоорганизации системы каких-либо неконтролируемых дезинтеграционных факторов, в том числе фактора многоядерности процессора.