

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.Н. Шумилов

ПРИНЦИПЫ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
МОЗГА

*2-е издание,
переработанное и дополненное*

Издательство Томского университета
2015

УДК 611.018.834:616–072.7

ББК 22

Ш 96

Отв. редактор
д-р физ.-мат. наук *В.И. Соломонов*

Шумилов В.Н.

Принципы функционирования мозга. – 2-е изд., перераб. и доп.
Ш 96 / отв. ред. В.И. Соломонов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2015. –
188 с.

ISBN 978-5-7511-2372-7

DOI 10.17223/9785751123727

В книге сформулированы принципы функционирования нервной системы (НС), мозга, дана оценка информационной ёмкости мозга. Предложен механизм, обеспечивающий работу НС за счёт образования в ней следов событий, запоминания факта сочетания событий путём образования парных связей между одновременно возбуждёнными нейронами. Эти связи впоследствии обеспечивают опережающую реакцию организма на последовательности причинно обусловленных событий и тем самым полезность запоминания для выживания организма. Механизмы НС обеспечивают обучение (запоминание), переучивание (на основе перманентного запоминания и забывания), результативную реакцию на события и позволяют мозгу работать без переключений режимов «обучение / функционирование». При сравнительно малом количестве нейронов в НС (или мозге) на основе поступающих сигналов-раздражителей обеспечивается одноступенчатое прогнозирование. По мере роста количества нейронов появляется прогноз на основе прогноза, прогнозирование становится многоступенчатым, появляется мышление. Приведена схема электрическая принципиальная модели мозга и составляющих его логических элементов.

Для всех интересующихся вопросами функционирования нервной системы, мозга.

УДК 611.018.834:616–072.7

ББК 22

*Работа выполнена по программе повышения
конкурентоспособности ТГУ*

ISBN 978-5-7511-2372-7

© Шумилов В.Н., 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Удивительное создание природы мозг давно является предметом пристального внимания биологов и психологов. В XX в. к его изучению подключились представители «точных» наук, основав новую отрасль науки – биофизику. Сам термин «биофизика», получивший в наши дни широкое распространение, часто приводит к недоразумениям, так как он априори предполагает, что существует особая физика живой материи. Возможно, что такая «особая» физика и имеет право на существование, но для утверждения и подтверждения этого права требуется введение новых постулатов и мировых констант, без которых невозможно понимание изучаемого явления. Так это делалось ранее. Например, понимание электромагнитных явлений на основе существующей в то время механики оказалось невозможным без введения постулата о постоянстве скорости света и новой постоянной c – скорости света в вакууме. При переходе к микрофизическим законам также потребовалось вводить постулаты квантовой механики и новую мировую постоянную Планка \hbar – квант действия.

Поэтому и для понимания биофизических эффектов всё время делаются попытки введения новых постулатов, например о наличии в природе неких жизненных сил или торсионных полей. Необходимость постулатов недостаточно обоснована и однозначно не подтверждена экспериментально. Более того, в настоящее время существует представление о том, что для полного описания и понимания биологических систем в принципе вполне достаточно известных нам основных законов физики без привлечения сверхъестественных сил, т.е. сил, не известных науке.

Сторонником последнего представления является инженер-компьютерщик Владимир Николаевич Шумилов. В данной работе он приводит модели возникновения и функционирования мозга, основанные только на известных физических законах. Как

компьютерщик, он предложил также использовать свои модели для создания интеллектуального суперкомпьютера, способного запоминать и забывать, обучаться и переучиваться, а также одновременно с этим выдавать требуемую информацию.

Эта работа по содержанию и наличию доказательств представляет собой не монографию, обобщающую большой экспериментальный и теоретический материал, а научную статью большого объёма, в которой автор призывает читателя к активной дискуссии. Полагаю, что изложенный материал вызовет интерес не только у компьютерщиков, но и у биологов и биофизиков.

*В.И. Соломонов,
д-р физ.-мат. наук, профессор*

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

За годы, прошедшие со времени издания книги «Принципы функционирования мозга. Взгляд инженера» (Екатеринбург, 2008), ситуация в вопросе представлений о функционировании мозга достаточно сильно изменилась, провозглашённые в первом издании принципы функционирования мозга получили различные подтверждения и перешли, таким образом, из принципов провозглашённых в принципы, подтверждённые на практике.

Выдвинутые принципы излагались на конференциях, где получили поддержку. Критика же не была уничтожающей, что имело бы место при расхождении провозглашённых принципов с действующими в природе, хотя выдвинутые принципы и противоречат некоторым принятым сегодня положениям, например о «торможении». Было запатентовано самоорганизующееся устройство управления (СУУ), построенное на провозглашённых «принципах» [15]. То есть принципы прошли проверку авторитетным мнением квалифицированных специалистов.

Но это были лишь субъективные мнения, хоть и квалифицированных специалистов. А люди могут ошибаться. Принципы же получили более убедительное подтверждение на практике. Сначала была создана малая компьютерная модель с малым количеством компьютерных нейроподобных элементов (моделей отдельных нейронов). Но в наше время доверие к компьютерным моделям несколько упало – это изделие человеческих рук и ума может содержать ошибки или даже преднамеренную фальсификацию.

Более убедительным подтверждением соответствия действительности и действенности выдвинутых нами принципов является создание и испытание электронной модели минимальной нервной системы, состоящей из трёх электронных нейроподобных элементов. Эта работа была выполнена в рамках НИР 9006 в Томском го-

сударственном университете [21]. На этой электронной модели была подтверждена возможность самообучения и переучивания минимальной нервной системы, построенной на провозглашённых принципах. Таким образом, принципы перешли из разряда провозглашённых в разряд подтверждённых практикой. Пока на минимальных моделях.

Окончательным решающим подтверждением соответствия действительности наших представлений о функционировании биологического мозга в дополнение к уже имеющимся подтверждениям принципов функционирования нервной системы и мозга на инженерной практике может стать биологический эксперимент. Результатом такого биологического эксперимента должно стать получение диаграмм потенциалов на входах и выходах нескольких живых биологических нейронов во время образования связи между ними и последующего функционирования этой связи. Диаграммы электрических потенциалов входов и выходов нейронов, функционирующих в мозге, могли бы решающим образом подтвердить соответствие выдвинутых принципов биологической действительности или, наоборот, опровергнуть их.

В настоящее время ведутся работы по созданию электронной модели с большим количеством нейроподобных элементов, которая по своим возможностям была бы ближе к мозгу человека, представляла бы собой уже искусственный, хоть и слабый, но мозг. Эти работы имеют конечной целью создание полноценного искусственного мозга, сравнимого по возможностям с человеческим мозгом или даже превосходящего его.

Для обобщения вновь полученных результатов было сочтено целесообразным переиздать книгу. Поскольку не было выявлено существенных ошибок, а, наоборот, получены подтверждения соответствия выдвинутых принципов действительности, то основа книги сохранена. По мере возможностей во втором издании устранены туманные формулировки, уточнены акценты, расширен круг затронутых вопросов.

Автор выражает благодарность своей семье за моральную и интеллектуальную поддержку и Томскому государственному университету за материальную и организационную поддержку.

Природа устроена очень просто.
Иначе ничего бы не работало.
Вот только простоты этой много.
Отсюда и все сложности.

ВВЕДЕНИЕ

Что можно сказать по поводу утверждения о простоте устройства мира, вынесенного в эпиграф? Оно основано на убеждении, что в природе всё происходит естественным образом, без всякой мистики. Правда, часто совершенно непонятно, как это происходит, но потом постепенно выясняется. А непонятности, сложности возникают из-за того, что мир представляет собой огромное множество взаимодействующих объектов, с ещё большим количеством взаимодействий между ними, представляющихся нам случайными, поскольку их происхождение невозможно отследить по техническим причинам, а иногда невозможно и принципиально. Но при большом количестве событий и связей всё распределяется между ними в соответствии с законами больших чисел – в среднем приблизительно равномерно по степеням свободы (по степеням возможностей). Равномерно распределена и кинетическая энергия частиц – в среднем $\frac{1}{2} kT$ на одну степень свободы частицы (k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура), и средняя плотность звёзд в мировом пространстве. Это утверждение представляет собой вариант трактовки эргодической гипотезы, суть которой состоит в том, что вероятность пребывания системы в некотором состоянии пропорциональна его фазовому объёму.

Точно так же и сложность (количество характеризующих факторов) распределяется между объектами и их взаимодействиями приблизительно равномерно. Так что уровень сложности произвольного объекта соответствует уровню сложности взаимодействий, в которых этот объект участвует. И наоборот, сложность взаимодействий соответствует сложности объекта. Поэтому поведение электрона («элементарной» частицы) не может быть слишком сложным. У электрона просто нет сложного интерпретирующего аппарата, способного измерять его координаты,

расстояния от него до других объектов, их заряды, и на основе этих измерений рассчитывать энергию взаимодействия и его возможные ускорения и перемещения. Именно поэтому уравнение, описывающее поведение электрона, должно быть предельно простым. И такое уравнение нашёл Дирак в 1928 г. [1].

Сказанное о соответствии уровней сложности взаимодействий объектов и их структуры относится к объектам любой сложности, не только к механическим, физическим, но и к биологическим, в том числе и к нервным клеткам – нейронам. Они тоже являются физическими объектами. Поэтому и поведение (функционирование) достаточно простого объекта – нейрона – должно быть простым.

С другой стороны, для макрообъектов, состоящих из большого числа элементарных, квантовых объектов, до сих пор не было зафиксировано нарушений второго начала термодинамики, т.е. перехода изолированных макрообъектов (замкнутых систем, не взаимодействующих с внешним миром) из гораздо более вероятного состояния в гораздо менее вероятное состояние. Но мозг представляет собой высокоорганизованную, очень маловероятную структуру, которая, по представлениям некоторых людей, не могла образоваться сама по себе. В этой якобы невозможности самоорганизации мозга и видят они сверхъестественность (необъяснимость естественными причинами) разума.

На самом же деле мозг не является изолированной замкнутой системой. Он постоянно снабжается питательными веществами (без них мозг быстро погибает, к тому же удельное потребление веществ в мозге гораздо выше, чем в среднем по организму), на него воздействует внешняя среда через сигналы, порождаемые различными событиями, воздействующими на организм. Поэтому хотя энтропия всей системы, в которую входит и мозг, постоянно повышается (т.е. система в целом переходит во всё более вероятные, более разупорядоченные состояния), упорядоченность структур мозга – части этой системы – при благоприятных обстоятельствах может увеличиваться за счёт большего разупорядочивания в других частях полной замкнутой системы, частью которой он является, с которыми мозг интенсивно взаимодействует в термодинамическом смысле.

В смысле увеличения упорядоченности структур мозга при уменьшении упорядоченности всей системы мозг полностью

аналогичен кондиционеру. При затрате электрической энергии во всей системе (дом + хладагент + окрестности дома) можно получить только положительное, но никак не отрицательное приращение тепла, т.е. можно получить только увеличение беспорядочного движения микрочастиц. Однако за счёт работы, затраченной на сжатие хладагента, можно получить некоторое количество холода в доме, т.е. более упорядоченное и менее вероятное состояние воздуха в доме за счёт нагрева воздуха вне дома. Холод в доме образуется в результате кипения хладагента с уменьшением упорядоченности его молекул, но с увеличением упорядоченности молекул воздуха в доме, с передачей беспорядочного движения молекул воздуха комнаты (тепла) хладагенту в кондиционере. Это перераспределение упорядоченности между частями полной системы происходит в два этапа: хладагент предварительно сжимается в результате работы электродвигателя компрессора, при этом хладагент нагревается и **самопроизвольно** отдаёт тепло, образовавшееся при сжатии, в окрестности дома – в окружающее пространство, в другую часть системы. На втором этапе хладагент с температурой, до которой он успел охладиться вне дома, естественным образом **самопроизвольно** охлаждается при расширении в испарителе кондиционера, кипит там при пониженном давлении и охлаждает (упорядочивает) воздух в доме.

Точно так же, как получается холод в холодильнике, очень высокая упорядоченность структур мозга достигается, в конечном итоге, не за счёт каких-то сверхъестественных причин, а за счёт «сжигания», разупорядочивания продуктов питания. То есть за счёт перехода продуктов питания из состояния, в котором у них была запасена электрохимическая энергия, в состояние, в котором эта энергия уже израсходована. При этом продукты превращаются в отходы. Можно сказать, что высокая упорядоченность структур из состава пищи частично переместилась в мозг. Это перемещение совершается в ходе **самопроизвольного** разупорядочивания структуры продуктов питания. При этом **самопроизвольном** разупорядочивании потенциальная энергия питательных веществ частично тратится на образование упорядоченных структур мозга, частично переходит в энергию беспорядочного движения – выделяется тепло во всей системе «организм + пища». В ходе своего непрерывного функционирования структуры мозга потребляют до

20 % энергии, потребляемой всем организмом. Тогда как масса мозга составляет всего 2 % от массы всего организма. Получается, что ткани мозга расходуют энергию питательных веществ (используют её при своём функционировании) в 10 раз интенсивнее, чем остальные ткани организма в среднем!

Так что все процессы в организмах протекают самопроизвольно, с увеличением энтропии. То есть все организмы развиваются в полном соответствии с законами термодинамики, а не вопреки им, как это иногда представляют с неосознанной или осознанной скрытой целью явной или неявной пропаганды тезиса о сотворении жизни.

Учитывая сказанное выше, попытаемся, не выходя за рамки известных законов природы, на основе внимательного рассмотрения процесса развития организмов понять, как работает мозг. Отметим, что часть предлагаемой работы имеет под собой достаточно прочное широко известное экспериментальное основание. Тогда как другая часть этой работы не столько отражает имеющиеся на сегодня общепризнанные экспериментальные данные, сколько является попыткой познания основных принципов функционирования такого объекта, как мозг, способный субъективно (индивидуально) отображать действительность. Отметим, что провозглашаемые в работе принципы уже получают экспериментальное подтверждение – созданы компьютерная и электронная модели, пока с малым количеством нейроподобных элементов [21], в которых получены подтверждения действенности выдвигаемых в книге принципов.

Надеюсь, что на основе изложенных в книге принципов будут созданы работоспособные действующие полномасштабные модели искусственного мозга, как компьютерные, так и схемотехнические. Хотелось бы, чтобы правильность данной работы была оценена именно инженерной практикой, реализацией предлагаемых компьютерных и схемных моделей, т.е. созданием действующего искусственного мозга.

Ничего невозможного в его создании нет. Человек уже создал искусственные слух и зрение, намного превосходящие естественные. Очередь за искусственным мозгом.

В связи с реальной возможностью создания действующей модели мозга, обосновываемой в последующих главах, необходимо сделать следующее предостережение. Если не только принци-

пиально, но и технически возможно создание мощного искусственного мозга, можно сказать, искусственного разумного существа, то встает вопрос: имеем ли мы право перед лицом нашего вида – человека, перед лицом наших потомков настолько вмешиваться в природу, чтобы создавать существа, равные или даже превосходящие нас по возможностям?

Есть в стремлении к созданию на базе мощного компьютера искусственного интеллекта (ИИ), равно, как и к созданию на основе электронной схемы искусственного мозга (ИМ), или искусственного носителя интеллекта (ИНИ), с последующим воспитанием в нём (в ИМ) естественного интеллекта (ЕИ), огромная потенциальная опасность для нашего человеческого вида. Если на Земле, рядом с нами, появится равный или более сильный конкурент человека (даже по нашей воле), то он может выйти из-под контроля человека и просто уничтожить нас. Или в борьбе за ресурсы. Или просто по своему недомыслию, как это делаем и мы, люди, по отношению к «братьям нашим меньшим». Или поставить нас в позицию своего раба или домашнего животного. Поэтому следует стремиться к тому, чтобы создаваемые нами устройства и разумные существа не могли бы обходиться без людей, подобно тому, как мужчины и женщины не могут обходиться друг без друга, будучи несколько различными существами. Чтобы искусственные существа не стали антагонистическими конкурентами человека за какие-то ресурсы (подобными автомобилям на тротуаре, мешающим пешеходам, или кроликам в Австралии, уничтожающим урожай, выращенные людьми). Чтобы они использовали отличные от наших ресурсы и занимали разные с нами экологические ниши в жизни на Земле и вне её, были бы в симбиозе с нами. Были бы единой с человеком цивилизацией.

С другой стороны, мы в своём нынешнем состоянии уже стремимся не «покорять», не уничтожать, а сохранять окружающую нас природу во всех её проявлениях. Так что можно надеяться на бережное отношение и к нам со стороны более сильных существ.

С третьей стороны, будучи более живучим, чем мы, новый вид сможет сохранить в своём лице нашу цивилизацию при разного рода катаклизмах, в том числе и при грандиозных космических катастрофах. Тогда как мы, слабые органические существа, из-за нехватки ресурсов, в первую очередь энергетических, можем

деградировать или вымереть вследствие великого оледенения или глобального потепления даже при небольших колебаниях светимости нашего Солнца. Мы можем исчезнуть и по собственной глупости, из-за болезненно непомерных амбиций какого-нибудь «сверхчеловека» из нашей человеческой расы в результате развязанной им тотальной войны или вышедших из-под контроля болезней. Да мало ли всевозможных напастей, способных извести род человеческий как в одночасье, так и через долгие мучения!

А с четвертой стороны, в чем вообще **мы видим смысл** нашей жизни? В продолжении однообразного существования нашего человеческого вида на протяжении миллионов лет? Или в том, чтобы вырастить наших детей более способными и умными, чем мы? Вторая перспектива представляется более интересной, поскольку отражает прогрессивное развитие разумной жизни. Уже сейчас наши дети бывают разными. Во-первых, это генетически наши дети, «по крови» – плоть от плоти; или родившиеся естественным путём, или зачатые искусственно «из пробирки», или выношенные суррогатной матерью. Во-вторых, это наши приёмные дети – обычные дети, рождённые другими людьми. И, наконец, к категории наших детей можно отнести и искусственных существ, порождённых нашим разумом и технологиями.

К сожалению, у меня не было возможности поработать в большой библиотеке, чтобы дать ссылки на печатные первоисточники, которые более авторитетны в мире науки. Но, мне кажется, приведённые источники, хоть и не всегда являются первоисточниками, достаточно правильно отражают существующее положение дел как в области экспериментальных фактов, так и в области общепринятых распространённых суждений, воззрений. Приведённые надёжно установленные экспериментальные факты в достаточной мере подкрепляют взгляды, изложенные в данной книге.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ЁМКОСТЬ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА

Сегодня нет общепризнанного взгляда на логику функционирования нервной системы (НС) – логику взаимодействия нейронов – даже простейших организмов и тем более мозга человека. Так что мозг или НС представляются чёрным ящиком, несмотря на то, что анатомическая структура и биофизические процессы в НС, в мозге хорошо изучены [7–10]. Однако принципы, логика функционирования НС до сих пор разработаны, хотя некоторые черты этого функционирования известны достоверно. А именно, по мозгу, состоящему из очень большого количества активных элементов – нейронов и проводящих связей между ними, распространяются электрические сигналы, формируемые возбуждёнными нейронами. Нейрон возбуждается, когда суммарный сигнал на его многочисленных входах превышает некоторый пороговый уровень. Нейрон, пребывая некоторое время в возбуждённом состоянии, за счёт расходования накопленных в нём питательных веществ выдаёт сигнал определённой энергии (стандартного потенциала и длительности), что позволяет сигналам распространяться без затухания по ветвящимся структурам мозга дальше. Величина потенциала возбуждения нейрона определяется разностью электрохимических потенциалов, а длительность зависит от размера порции питательных веществ, преобразующихся за один цикл возбуждения в электрический сигнал. Поэтому возбуждение нейрона длится определённое время, даже если возбуждающий сигнал появляется на очень длительное или короткое время.

Исходные нервные импульсы возникают при воздействии раздражителей – факторов окружающей среды на рецепторы – входные цепи мозга и транслируются далее, распространяются по структурам мозга. Причём по внутренним структурам сигналы именно распространяются, трансформируются в них, но не генерируются. Структуры мозга не реагируют даже на механическое воздействие на тка-

ни мозга. Итоговая реакция организма на поступившие входные сигналы (раздражители) определяется тем, какие мышцы или железы внутренней секреции будут активированы мозгом (НС) в ответ на исходные сигналы, сгенерированные в рецепторах при воздействии на них внешней среды. То есть реакция НС проявляется местом выхода из НС на определённый исполнительный механизм (манипулятор) организма сигнала реакции НС. Из этого следует, что реакция НС организма на раздражитель зависит от того, по какому пути распространяется от входа НС к её выходу сигнал раздражения, действовавшего на организм. Так что реакция организма зависит от конфигурации входных сигналов и структуры НС (возможных путей следования сигналов) на момент прохождения сигнала через НС. С другой стороны, известно, что структура мозга со временем изменяется. Особенно быстро количество связей между нейронами возрастает при интенсивном обучении [7–9]. Отсюда вытекает, что при обучении в НС (в мозге) образуются новые пути следования сигналов, в которых отображается приобретённый опыт.

То есть, в отличие от распространённых сегодня устройств, в которых информация записывается в специализированный блок памяти, затем считывается из него и интерпретируется другим специализированным блоком, в биологической НС механизмы хранения и интерпретации (распространения) информации совмещены функционально и не локализованы в каких-то определённых выделенных участках мозга, а распределены по всему объёму мозга! Из вышеизложенного однозначно вытекает, что информация в мозге каким-то образом фиксируется посредством многочисленных связей между огромным числом нейронов. Причём эта фиксация информации должна быть такой предельно простой, что может осуществляться локальным механизмом отдельного нейрона, который также должен быть устроен простейшим естественным образом, как и всё остальное в природе.

Каков механизм образования в НС, в мозге, следов событий в виде связей между нейронами (элементов памяти), проводящих сигналы между ними? По какому принципу образуются связи? Каковы механизмы распространения сигналов, поступивших в мозг, по его структурам? Почему, каким образом, прохождение сигналов по структурам мозга обеспечивает оптимальное поведение организма? Для ответов на эти вопросы представляется продуктивным подход,

основывающийся на рассмотрении эволюции организмов от простейших вплоть до человека (и далее?).

С точки зрения понимания логики работы мозга ясно, что на уровне отдельного элемента-нейрона не имеет значения, каким именно образом (механически, химически или электрически) реализованы связи и как именно осуществляют анализ входных сигналов эти логические элементы-нейроны. Главное – понять, какая логическая функция реализована на данном нейроне или на группе нейронов, чтобы имела место наблюдаемая реакция НС. Поэтому мы не будем пока уделять особого внимания вопросам конкретного устройства и функционирования отдельных логических элементов мозга – нейронов (их физиологии), а сосредоточимся на логике взаимодействия, на принципах совместного функционирования нейронов, обеспечивающего адекватный ответ организма на складывающиеся конфигурации сигналов от входных рецепторов. Примеры же для простоты будем рассматривать в терминах понятных электрических схем.

Но прежде чем говорить о возможном устройстве мозга, оценим информационную ёмкость мозга человека. Эта оценка интересна и сама по себе, с точки зрения познания природы. К тому же она не только позволяет удовлетворить любопытство по поводу ёмкости нашего мозга, но важна и с точки зрения оценки технической и экономической целесообразности построения того или иного варианта ИИ или какого-либо самообучающегося устройства. Понятно, что устройство с малой информационной ёмкостью не может претендовать на сравнение с возможностями человеческого мозга.

Для этой оценки воспользуемся некоторыми достаточно надёжными экспериментальными данными о мозге человека, существующими на данный момент. Для оценки информационной ёмкости мозга человека нам надо знать следующее:

– нейроны связаны между собой – выход (аксон) предыдущего нейрона соединен с входами (дендритами) следующих нейронов. Реакция мозга на воздействие среды определяется траекторией движения по структурам мозга сигналов, порождённых воздействием среды на входные рецепторы:

– N – количество нейронов в головном мозге;

– L – среднее количество входов-дендритов у одного нейрона;

– R – среднее количество нейронов, с выходами-аксонами которых может связаться нейрон через один из своих входо-дендритов; определяется средней длиной дендритов и аксонов, их топологией;

– D – число различных значений логического веса связи между нейронами.

Отметим, что выход нейрона (аксон) представлен в единственном числе, хотя его единственность и не существенна для нашего рассмотрения. Множество всех остальных имеющихся на сегодня сведений о мозге человека, как экспериментальных фактов (результатов измерений), так и представлений (результатов рассуждений), мы пока не будем рассматривать.

Сделаем естественное предположение, что информация в мозге отображается путём образования связей между нейронами головного мозга. Вообще-то, по большому счёту, это предположение следует называть уже подтверждённым [2] устоявшимся представлением.

Примем пока для простоты, что выходы нейронов работают не в аналоговом, а в чисто цифровом режиме, т.е. на выходе нейрона (логического элемента) сигнал или есть (уровень сигнала равен 1), или его нет (уровень сигнала равен 0).

В то же время, как показывает эксперимент, по входу нейрон ведет себя как аналоговое пороговое устройство, возбуждается, когда уровень входного сигнала превышает некоторый порог, обычно уровень шумов. Уровень суммарного входного сигнала зависит не только от потенциалов на его отдельных входах, но и от пропускной способности каждого отдельного входа – веса входа. То есть входы нейронов имеют различные веса, что эквивалентно различию их электрических сопротивлений, могущих изменяться со временем. Так что одинаковые по величине сигналы, приходящие на разные входы одного и того же нейрона, имеющие разные веса, оказывают несколько различающееся влияние на суммарный потенциал на входе операционной части этого нейрона и на его возбуждение. Различие весов различных связей несет некую информацию. Информационная ёмкость веса такой связи определяется количеством различных значений веса связи. Если веса связей неразличимы, то информация в весах этих связей равна нулю. Если можно различить 2, 4, 8, ... 1024 состояния веса связи

$(2^1, 2^2, 2^3, \dots, 2^{10})$, то значение веса этой связи несет в себе, соответственно, 1, 2, 3 ... 10 бит информации. На сегодня неизвестно, какова информационная ёмкость одного входа нейрона за счёт различия весов связей. Поэтому мы поступим по аналогии с существующими техническими решениями. В технике для оцифровывания аналоговых сигналов обычно используется порядка 12 двоичных разрядов, иногда 16 двоичных разрядов (бит). Использование большей точности представления информации не имеет смысла, потому что полезный сигнал теряется на фоне шумов. Предположим, что природа достаточно близка к техническому оптимуму, и количество различимых весов связи $D = 4096 = 2^{12}$. То есть информативность веса связи принимаем равной 12 бит.

Примем, в соответствии с имеющимися на сегодня лабораторными данными, что в человеческом мозге содержится $N=15$ млрд нейронов ($1.5 \cdot 10^{10}$). У каждого из этих N нейронов имеется $L=10\ 000 = 10^4$ входов-дендритов и один выход-аксон [3]. По данным других исследователей, в мозге человека насчитывается до 100 млрд нейронов, каждый из которых имеет до 20 000 входов-дендритов.

Каждый вход-дендрит может быть связан с одним из соседних нейронов, с его аксоном. Аксон может быть связан с множеством дендритов. Средняя длина дендрита около 1 мм, тогда как аксоны имеют длину в сотни миллиметров.

Каждый из N нейронов посредством каждого из своих L входов-дендритов может быть связан с некоторыми L нейронами из числа R близлежащих нейронов, в том числе и с самим собой или с каким-то нейроном через несколько входов. Пусть каждый нейрон может связаться через один из своих входов (длиной 1 мм) с одним из своих соседей – нейронов, находящихся в пределах досягаемости для дендритов данного нейрона, т.е. расположенных внутри сферы с радиусом, равным длине дендрита $r = 1$ мм. Объём этой сферы $V = (4\pi/3) r^3 \approx 4.2$ мм³, и в нем находится в среднем около 42 000 нейронов. Тогда как все $15 \cdot 10^9$ нейронов располагаются в объёме всего мозга, приблизительно равном $1.5 \cdot 10^6$ мм³ (1500 см³). Таким образом, в пределах досягаемости дендритов рассматриваемого нейрона расположено около 42 000 нейронов-соседей (самих ядер – сом нейронов). Но дендриты контактируют с аксонами, простирающимися на сотни миллиметров от своего ядра.

Так что можно смело сказать, что нейрон через каждый из своих входов может связаться более чем с 100 000 других нейронов, т.е. $R > 100\,000$.

Подсчитаем теперь, какое количество состояний, различающихся той или иной конфигурацией связей между нейронами, может иметь человеческий мозг. И какую длину должно иметь двоичное число, с помощью которого можно было бы пронумеровать все различающиеся состояния мозга. Количество двоичных разрядов, необходимых для нумерации всех различающихся состояний мозга, и будет представлять количество бит информации, необходимых для однозначного представления одного из возможных состояний мозга. Чтобы определить разрядность этого двоичного числа, адресующего одно из состояний, достаточно взять \log_2 от количества различных возможных состояний мозга. Это и будет возможное количество информации в мозге человека, эквивалент адреса, взаимно однозначного указателя на одно из возможных состояний мозга. А как именно организована информация в мозге – это уже другой вопрос (мы же говорим о количестве информации в произвольном закодированном файле, даже если не знаем, поскольку не видно, что это за информация). Организация информации в мозге будет рассмотрена ниже.

Для оценки количества возможных состояний мозга изобразим схематически нейроны мозга и связи между ними (рис. 1).

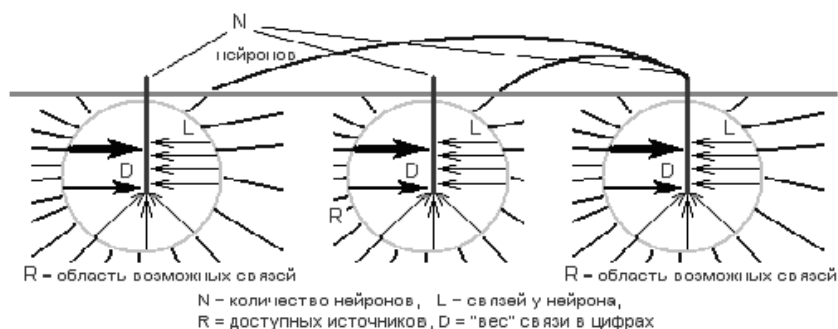


Рис. 1. Информационная ёмкость мозга

Произвольный нейрон через один из своих входов может образовать с одним из R соседей связь, имеющую одно из 4 096 возможных значений логического веса этой связи. То есть каждая связь нейрона может находиться в одном из 400 000 000 состояний ($R \cdot D = 100\,000 \cdot 4\,096 \approx 2^{16.7} \cdot 2^{12}$).

Так что при образовании (или необразовании) связи через первый рассматриваемый вход (из L) с одним из R нейронов рассматриваемый нами нейрон с учетом логического веса связи может реализовать один из $(R \cdot D)$ вариантов связей. Второй вход этого же нейрона также может быть связан с одним из R нейронов (через связь с одним из D весов). Видим, что при задействовании двух входов может быть реализовано $(R \cdot D) \cdot (R \cdot D)$ вариантов соединений данного нейрона с другими. При задействовании следующего (третьего) входа может быть реализовано уже $(R \cdot D) \cdot (R \cdot D) \cdot (R \cdot D) = (R \cdot D)^3$ вариантов. Так что при задействовании всех L входов рассматриваемый нейрон может иметь одну из $(R \cdot D)^L$ конфигураций связей через свои входы с другими нейронами. Точно так же каждый из $(N-1)$ оставшихся нейронов может иметь одну из $(R \cdot D)^L = Z^L$ конфигураций входных связей независимо от конфигураций связей других нейронов. Что в итоге даёт трудно вообразимое количество M возможных конфигураций связей между нейронами системы под названием «мозг человека», состоящей из N нейронов, каждый из которых имеет L входов, а для каждого входа доступно $(R \cdot D)$ вариантов соединений:

$$\begin{aligned} M &= (Z^L) \cdot (Z^L) \cdot (Z^L) \cdot \dots \cdot (Z^L) = (Z^L)^N = ((4 \cdot 10^8)^{10\,000})^{15\,000\,000\,000}, \\ &= ((4^{(10\,000 \cdot 15\,000\,000\,000)}) \cdot (10^{(8 \cdot 10\,000 \cdot 15\,000\,000\,000)})), \\ &= ((4^{150\,000\,000\,000\,000}) \cdot (10^{1\,200\,000\,000\,000\,000})), \\ &> (10^{75\,000\,000\,000\,000}) \cdot (10^{1\,200\,000\,000\,000\,000}), \\ &> 10^{1\,275\,000\,000\,000\,000} \text{ конфигураций!} \end{aligned}$$

Полученное невообразимое количество конфигураций можно представить себе намного проще (привычнее в сегодняшнем мире), если сказать, что для представления такого количества конфигураций системы (скажем, для нумерации этих конфигураций) нужно иметь W двоичных разрядов – бит. Для определения количества бит, необходимых для указания на одну из этих возможных M конфигураций, для адресации одной из этих

конфигураций, надо взять логарифм по основанию 2 от этого числа M .

То есть количество информации, которое способен вместить в себя человеческий мозг за счёт реализации тех или иных вариантов конфигурации связей между нейронами,

$$W = \log_2 M = \log_2 (Z^L)^N = \log_2 ((R \cdot D)^L)^N = N \cdot L \cdot (\log_2 R + \log_2 D),$$

или

$$W = \log_2 M = N \cdot \log_2 (R \cdot D)^L = N \cdot I,$$

Здесь через I мы обозначили среднее количество информации, которое может быть зафиксировано (размещено) в одном нейроне.

Можно сказать, что наши рассуждения были излишне наукообразны. Специалист по компьютерам без лишних рассуждений сразу же записал бы ёмкость мозга в виде:

$$W = N \cdot I,$$

где N – количество нейронов, а I – информационная ёмкость одного нейрона. В обоих случаях

$$I = \log_2 (R \cdot D)^L = L \cdot \log_2 (R \cdot D) = 10\,000 \cdot \log_2 400\,000\,000 \approx \\ \approx 10\,000 \cdot 28 \text{ бит.}$$

Легко наглядно показать, что информационная ёмкость одного нейрона именно такая. Для этого отметим, что каждая из $L=10\,000$ связей рассматриваемого нейрона соединяет его с выходом одного из $R=100\,000$ нейронов (связь указывает на один из R нейронов), каждый из которых как раз и адресуется приблизительно 16 битами ($2^{16} \approx 64 \cdot 10^3$). Кроме того, информационная ёмкость веса каждой отдельной связи равна 12 битам, что соответствует 4 096 различимых значений веса связи.

Чтобы убрать возражения против учета информативности веса связи (за неимением её измеренных параметров), примем пока, что информационная ёмкость каждой связи – входа нейрона определяется только возможностями адресации одного из 100 000 нейронов и

составляет всего лишь 16 бит. То есть информационная ёмкость одного нейрона $I \approx 10\,000$ связей $\cdot 16$ бит/связь = 160 000 бит.

Поделим количество бит на 8, получим количество байт:

$$I \approx 20\,000 \text{ байт} = 20 \text{ Кбайт.}$$

Так что информационная ёмкость всего мозга $W = N \cdot I$ составляет не менее

$$W = N \cdot I = (15 \cdot 10^9) \cdot 20\,000 = 300 \cdot 10^{12} \text{ байт} = 300 \text{ Тбайт!}$$

И это без учета весов связей! А с учетом весов связей $I \approx 35$ Кбайт, $W \approx 500$ Тбайт.

Если принять для наглядного представления полученной оценки информационной ёмкости мозга человека, что на одной бумажной странице размещается 6 Кбайт информации, а 1 000 страниц составляют один том (книгу), то ёмкость мозга человека (300 Тбайт) составляет приблизительно пятьдесят миллионов (50 000 000) таких тысячестраничных томов! Если мысленно поставить все эти тома, каждый толщиной порядка 3 см, на полку, то длина этой воображаемой книжной полки составит 1 500 км! Если бы человек прочитывал каждый день по одной такой книге, то за год он прочитал бы 365 томов примерно с 10 м, так что за 100 лет были бы прочитаны книги примерно с 1 км этой воображаемой книжной полки. Конечно же, человек воспринимает информацию с гораздо большей скоростью, чем 1 000 страниц в день.

Трудно представимое число ($300 \cdot 10^{12}$ байт) для наглядности можно свести ещё к чему-нибудь, более привычному на сегодняшний день. Предположим, что каждый день в мозге человека с предельной точностью фиксируется порядка $5 \cdot 10^9$ байт = 5 Гбайт, что составляет приблизительно 4 ч фильмов на DVD. Для фиксации такого количества информации мозг должен был бы воспринимать её непрерывно в течение суток (86 400 с) со средней скоростью порядка 60 Кбайт в секунду, что соответствует образованию приблизительно 30 000 новых связей между нейронами мозга за одну секунду.

Информационная ёмкость каждой связи (без учета её логического веса) равна приблизительно 2 байта = 16 бит адресации

одного из 100 000 нейронов, связывающегося посредством этой связи с нашим рассматриваемым нейроном. Так что $60\,000 \text{ (байт/с)} / 2 \text{ (байт/на одну связь)} \sim 30\,000 \text{ (связей/с)}$. Эти 30 000 связей соединяют множество пар нейронов последовательно, в разные цепочки, а также параллельно, отображая мозаику множества событий и свойств объектов, попавших в «поле зрения» мозга через входные рецепторы. Суммарно эти 30 000 связей, образующихся между многими нейронами, эквивалентны образованию всех связей 3 нейронов (у каждого 10 000 связей) в секунду.

При таком предположенном темпе фиксации информации мозг человека будет полностью заполнен (образуются все возможные связи) примерно за 60 000 дней ((ёмкость мозга $\approx 300 \cdot 10^{12}$ байт) / $5 \cdot 10^9$ (байт в день)). Или за 160 лет (точнее, 164).

Понятно, что безошибочно, с компьютерной точностью, мы запоминаем в день гораздо меньше 5 Гбайт информации. Мозг наш не работает с механической точностью. С одной стороны, вполне возможна ситуация, когда одна и та же информация многократно дублируется (образуется множество параллельных связей). С другой – какая-то информация утрачивается, например, из-за того, что какие-то фрагменты картины окружающей действительности не дошли до места фиксации, или дошли, но не были зафиксированы, или были зафиксированы, но потом разрушились. Именно поэтому об одном и том же событии 10 свидетелей, имея собственное индивидуальное (субъективное) видение, сообщают 10 различных версий.

Видим, что вычисленная нами информационная ёмкость мозга приблизительно соответствует нашим интуитивным представлениям об объёме человеческой памяти.

Отметим, что все цифры, полученные в этой главе, являются оценочными, демонстрирующими, в основном, методику расчёта. Но, кроме методики, они позволяют также судить в меру достоверности использованных экспериментальных данных о порядке величины объёма нашей памяти и скорости восприятия информации человеком, что говорит об адекватности и реализуемости проектируемых устройств и систем, имеющих своей целью имитацию или моделирование функционирования мозга.

Можно, конечно, заявить о возможной неразличимости некоторых конфигураций идентичных связей нейронов, связанной с

нумерацией их входов-дендритов. И поэтому информационная ёмкость каждого нейрона, определяемая количеством возможных конфигураций связей, меньше, чем было принято выше, по той причине, что порядок, в котором различные дендриты одного нейрона связаны с выходами других нейронов, не имеет значения. Если это имеет место, то из комбинаторики следует, что вариантов конфигурации связей или реально различимых состояний каждого нейрона в $L!$ (L факториал) раз меньше, чем мы подсчитали. Так что информационная ёмкость одного нейрона I будет равна не 35 Кбайт, а на $\log_2(L!)$ бит меньше. Воспользовавшись асимптотической формулой Стирлинга для значения факториала

$$L! \approx (2\pi L)^{1/2} (L/e)^L,$$

где e – основание натурального логарифма, получаем

$$\Delta I = -\log_2(L!) / 8 = -15\,000 \text{ байт.}$$

То есть, если возможные состояния нейрона (конфигурации его связей) неразличимы при замене одного его входа-дендрита на другой, мы должны были бы принять информационную ёмкость одного нейрона равной приблизительно 20 Кбайт (35–15 Кбайт), что составляет 57 % от значения, полученного ранее.

Однако по поводу того, что состояния нейрона, различающиеся только «номера» дендритов, нужно считать одинаковыми, неразличимыми, надо сказать следующее: дендриты не могут быть идентичными уже хотя бы потому, что логические веса связей – дендритов различны. То есть длины, а также электрические характеристики разных дендритов (время задержки, электрическое сопротивление и т.д.) различны. И поэтому состояния нейрона, различающиеся порядком соединения двух дендритов с двумя другими нейронами, существенно различаются. Да и вообще весь мозг вряд ли можно считать чисто цифровым устройством с двумя возможными состояниями уровней сигналов (0 или 1) и на входах, и на выходах всех составных элементов. Мозг, скорее всего, эквивалентен гигантской логической схеме, реализовавшейся в виде аналоговой (по входам) электрической схемы с очень изменчивыми порогами срабатывания элементов, составляющих её. Хотя сигналы

на выходах-аксонах нейронов имеют при этом цифровой характер. То есть электрические потенциалы на выходах имеют всего два значения: «0» или «1». Аналоговая, даже только по входу, электрическая схема по сравнению с дискретной, цифровой, имеет существенно большее количество возможных состояний каждого элемента и всей схемы – нейрона и мозга в целом, хотя имеет при этом существенно меньшую устойчивость, повторяемость, воспроизводимость результатов.

На примере обсуждаемой возможной неразличимости некоторых конфигураций связей между нейронами видим, что, в принципе, возможны какие-то уточнения оценки информационной ёмкости мозга. Но в этом уточнении размером в десятки процентов нет особого смысла, поскольку существующие экспериментальные оценки количественных характеристик мозга имеют разброс в разы, т.е. в сотни процентов.

Так, некоторые источники утверждают, что N – количество нейронов в головном мозге человека – намного больше чем 15 млрд – до 100 млрд [4]. И каждый из них может иметь до 20 000 связей с другими нейронами, что примерно в 12 раз увеличивает информационную ёмкость мозга $W \approx 300 \cdot 10^{12}$ байт, вычисленную в соответствии с нашими допущениями. К тому же, как мы увидим позже, следует непременно учитывать различие логических весов связей между нейронами. Этот учет приводит к увеличению вычисленной нами выше при $N = 15 \cdot 10^9$ и $L = 10\ 000$ информационной ёмкости мозга до $500 \cdot 10^{12}$ байт или даже больше.

Так что не будем ничего уточнять, а примем пока, что информационная ёмкость каждого из 15 млрд нейронов составляет 20 Кбайт. Иначе, если мы начнём уточнять, то утонем в недостоверных деталях. Придётся говорить и о пороге чувствительности входов различных нейронов, и об изменении этого порога в зависимости от различных обстоятельств, как внутренних, так и внешних, а также и о других деталях, пусть даже очень существенных. А такое отклонение от главной темы не будет способствовать пониманию нами сути работы мозга.

Итак, мы подсчитали количество состояний мозга, различающихся конфигурациями связей между нейронами. Если запоминание в мозге происходит не за счёт образования связей между нейронами, а за счёт чего-то другого (что сомнительно), то

информационная ёмкость мозга не станет меньше подсчитанной нами выше, вытекающей из количества различных состояний мозга (количества возможных конфигураций связей между нейронами). Эти состояния мозга различаются, тем самым несут информацию, хотя мы можем и не знать, как её извлечь и как ею воспользоваться.

Конечно, можно сказать, что сама по себе некоторая конфигурация связей между нейронами мозга в информационном смысле подобна конфигурации контактов между отдельными песчинками в куче песка, т.е. совершенно бессмысленна и бесполезна. Сказать о том, что в конфигурации связей нейронов содержится полезная для организма информация, можно лишь тогда, когда будет показано, что существуют механизмы записи (фиксации), чтения (воспроизведения) и использования этой информации, фиксируемой в виде определённой конфигурации связей между нейронами мозга в нашем случае. Ещё лучше, если эти механизмы будут известны и промоделированы. Эти механизмы записи, воспроизведения и полезности описаны в последующих главах.

То, что связи между нейронами действительно содержат актуальную информацию, подтверждает экспериментальный факт, состоящий в том, что через межнейронные связи нейроны возбуждают друг друга, так что каждый сигнал (раздражение, мысль) проходит по тому или иному пути, определяемому конфигурацией связей между нейронами. Это и есть прямое доказательство того, что в конфигурации связей между нейронами отображена информация. Причём эта информация совершенно точно задействована в функционировании организма – путь прохождения сигнала через ту или иную цепочку связанных нейронов, вне всякого сомнения, самым существенным образом влияет на функционирование организма, поскольку возбуждённые на том или ином участке траектории сигнала нейроны в конечном итоге управляют соответствующими мышцами и подсистемами-органами. В свете сказанного становится очевидным, что в конфигурации межнейронных связей отображена (зафиксирована) жизненно важная информация, проявляющаяся (действующая, считываемая) в момент прохождения сигнала по той или иной

цепочке нейронов в зависимости от конфигурации возбуждающих сигналов.

Другое дело, что пока неизвестно, как эта информация отображается, записывается (фиксируется), каков механизм образования связей между нейронами. Ниже, в главах «Эволюция организмов», «Мозг – орган предвидения» и «Принципы функционирования мозга» мы опишем (представим) возможный способ возникновения таких связей между нейронами, т.е. покажем, каким именно образом жизненно важная для организма информация может фиксироваться в связях между нейронами.

Некоторое представление о принципах образования парных связей между нейронами мы можем получить чисто логически, исходя из самых общих соображений. Физической возможностью образования такой связи является близость нейронов, определяемая геометрией их расположения. Поскольку связи парные (каждая связь соединяет только два нейрона), то для образования связей между нейронами имеет значение только состояние именно этих двух нейронов, и ничего более. Рассмотрим пример. Пусть в мозге имеется несколько нейронов (А, В, С, D, E, F), отображающих следующие объекты-события внешнего мира:

А = на улице А состоялась,

В = на улице В состоялась,

С = на улице С состоялся,

D = демонстрация,

E = прогулка слона,

F = финиш ралли.

В принципе, между ними могут образоваться любые парные связи из числа $6!/2=15$ возможных (ненаправленных). В данном случае нас интересует образование одной из 9 связей: AD, AE, AF, BD, BE, BF, CD, CE, CF.

Связи АВ, АС, ВС, DE, DF, EF представляют несколько другие проекции событий и в данном случае нас не интересуют.

Пусть в какой-то момент времени образуется одна из связей, отображающая реальную связь между событиями, имеющими место в данный момент, скажем, AE = (на улице А состоялась)·(прогулка слона).

То есть в тот момент, когда одновременно были возбуждены два нейрона, отображающие события А и E, между ними образовалась связь. Тогда как другие допустимые, возможные связи не

образовались, поскольку не было такого составного события, чтобы одновременно были возбуждены А и F, или А и D, В и D и т.д. Из этого рассмотрения делаем предварительный вывод, что из принципиально возможных связей между двумя нейронами образуются только те, и только в тот момент, когда оба эти нейрона возбуждены. Иначе очень быстро, при первых же возбуждениях нейронов или даже вообще без возбуждения, сами по себе, без всякого соотношения с реальными событиями образовались бы все допустимые по географическому расположению нейронов межнейронные связи, в своём подавляющем большинстве не отражающие реальных событий (подобно контактам песчинок между собой в куче песка). И тем самым связи уже не несли бы в себе информации, отображающей действительность.

Можно утверждать, что именно связи между нейронами являются главным носителем информации, накопленной в мозге человека. Этот вывод вытекает уже из того факта, что любая возможность, любой механизм требует каких-то ресурсов, затрат. Ресурсы организма вполне ограничены, а ему для успешного функционирования необходимо иметь самые разные возможности. И если какая-то функция-возможность в организме уже реализована, то в случае дублирования этой функции у организма может не хватить ресурсов на другие возможности. Поэтому в организме, как и в любой самоорганизующейся системе, устанавливается баланс между затратами и полученными (имеющимися) возможностями (выгодами, полезностью). А поскольку на нейроны человеческого мозга и связи между ними затрачено около 1.5 кг, что составляет не менее 1.5 % массы человека, то на другие виды памяти, на дублирование функции памяти у организма уже просто нет ресурсов. Остальная масса человеческого организма, кроме 1.5 кг мозга, пошла на реализацию других необходимых систем жизнеобеспечения: движения, энергоснабжения (питания), доставки питательных веществ к различным системам организма и отвода от них использованных веществ, терморегулирования и т.д.

Здесь следует добавить, что ресурсы мозга в ходе жизни организма используются на все 100 %, а не на 10 %, как иногда утверждают. Иначе природа за миллионы поколений за счёт перераспределения ресурсов организма увеличила бы удельную нагрузку на мозг (с 10 до 100 %), уменьшив его массу, и уменьшила

бы удельную нагрузку на сердце, почки за счёт увеличения их массы. Хотя, конечно, события сплошь развиваются так, что сегодня были задействованы лишь 10 % ресурсов мозга, а завтра будут задействованы другие 15 %.

Из оценки информационной ёмкости мозга человека следует вывод о практически непреодолимых трудностях создания ИИ на путях нынешнего «mainstream»`а. Хотя некоторые задачи, традиционно относимые к интеллектуальной деятельности, компьютеры решают более успешно, чем это делает человек. Например, компьютерные программы обыгрывают шахматных чемпионов мира, они не могут найти выход из простейших ситуаций, если эти ситуации не предусмотрены заранее. Искусственный интеллект, равный по возможностям человеческому интеллекту, должен иметь информационную ёмкость, примерно равную ёмкости мозга человека. Что составляет порядка 300 терабайт. Так что для создания ИИ нужно тщательно проанализировать, сгенерировать и записать в устройство, интерпретирующее ИИ, упомянутые 300 Тбайт. Для того чтобы проделать эту колоссальную работу, требуются многие тысячи, если не миллионы лет труда высококвалифицированных специалистов. Так что, даже если создание ИИ на путях нынешнего «mainstream»`а возможно теоретически, оно невозможно практически, не оправдано экономически. Создание ИИ на путях «mainstream»`а, по нашему мнению, хотя и возможно, но нецелесообразно – слишком много затрат при малой пользе. К тому же нынешние пути создания ИИ далеки от пути понимания функционирования мозга человека или другого биологического существа.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОНОВКИ МОЗГА (об извилинах)

Итак, мы подсчитали приблизительно возможную информационную ёмкость мозга человека в соответствии с нынешними экспериментальными оценками количественных характеристик человеческого мозга и его составляющих: количества нейронов в мозге, количества дендритов у каждого нейрона и длин дендритов и аксонов. Наша оценка сделана на основе достаточно надёжных сведений без привлечения каких-либо гипотез и не очень обоснованных оценок типа темпа поступления информации в мозг через органы чувств.

Что можно сказать на основе наших оценок?

Во-первых, возможности мозга человека или любого другого существа, как естественного (у нас на Земле – биологического белкового), так и возможного искусственного, определяются общим количеством логических элементов (нейронов), а также количеством возможных связей у каждого нейрона, а не геометрическим объёмом или массой мозга. То есть мощность мозга определяется не количеством килограммов в нём, а количеством его возможных состояний, определяемым количеством возможных связей между нейронами. Проиллюстрируем сказанное на примере компьютерной техники. Сорок-пятьдесят лет назад компьютер, весящий десятки тонн, занимал помещение площадью в сотни квадратных метров. Сегодня же компьютер (телефон), весящий десятки грамм (в миллионы раз меньше!), помещается на ладони, но состоит при этом из гораздо большего количества логических элементов. Благодаря большому количеству логических элементов он имеет гораздо большую память и гораздо большую производительность, чем его прадедушка – многотонный монстр 50-летней давности. Человеческий мозг весит 1.5 кг, тогда как мозг кита – 6 кг. Но,

скорее всего, человек потенциально умнее кита, поскольку у человека больше нейронов и связей между ними.

Во-вторых, следует отметить, что для обеспечения максимального количества связей при минимальной массе и прочих равных условиях оптимальной представляется следующая компоновка элементов мозга: связующие элементы (дендриты-аксоны нейронов головного мозга) должны располагаться компактно во внутренних зонах головного мозга. При таком расположении возможно образование максимального количества связей при минимальной общей длине (массе) коммутирующихся частей. Тогда как сами ядра нейронов (операционные части-усилители логических элементов), имеющие достаточно большие размеры (объём и массу), выгоднее расположить на периферии головного мозга, т.е. на его поверхности, в **КОРЕ** головного мозга. При такой компоновке естественным образом попутно разрешается и проблема питания клеток головного мозга – к коре головного мозга (к телам-сомам нейронов) доставить питательные вещества и отвести из коры отработанные продукты гораздо легче, чем доставить их к внутренним зонам мозга. При этом на подвод питательных веществ во внутренние зоны мозга не будут тратиться драгоценный объём и масса организма.

Для размещения в коре головного мозга по возможности большего количества ядер нейронов, при их заданных природой размерах, обусловленных выполняемыми функциями, необходимо увеличить площадь коры. Как добиться этого в сочетании с требованиями минимального объёма, массы мозга? Природа решает эту задачу очень просто – поверхность мозга разрастается и становится не гладкой сферической, как бильярдный шар, а складчатой. А складки, существенно увеличивающие площадь поверхности головного мозга, образуют множество извилин. Так что площадь коры головного мозга и количество уместившихся в ней ядер нейронов существенно увеличиваются без увеличения объёма (массы) мозга, что приносит дополнительные баллы в борьбе за выживание обладателю такого мозга с множеством извилин. В разросшейся благодаря складкам-извилинам коре размещаются дополнительные нейроны, в связях которых может разместиться гораздо больше ума – житейской мудрости, жизненного опыта.

ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЗМОВ

(выживание – пропуск в последующую жизнь)

Для того чтобы понять, как функционирует мозг, попытаемся коротко рассмотреть, почему в организмах появились такие передаточные структуры, как нейрон, да ещё и в огромных количествах. Легче всего это сделать, совершив краткий экскурс в эволюцию, чтобы увидеть, под влиянием каких обстоятельств могли возникнуть и развиваться нервные системы организмов.

То, что существует в живой природе (именно в существующем сегодня виде), ничтожно маловероятно, как утверждают «знатоки» теории вероятности. Вероятность существования жизни в её нынешнем состоянии по их расчётам $P=10^{-60}$ (я бы даже сказал, что ещё на много порядков меньше!). Но, с другой стороны, не было бы так, как сегодня, было бы по-другому – по какому-то одному из 10^{+60} вариантов. Так что вероятность существования нашего мира в каком-либо виде составляет в точности единицу. А сумма всех вероятностей реализации одного из великого множества вариантов конкретной, крайне маловероятной, конфигурации жизни на Земле (или на другой планете) хоть и не равна единице, но достаточно велика.

Поясним сказанное (без претензии на точность). Пусть к некоторому моменту времени на Земле с вероятностью $P < 1$ возникла жизнь. Путь во времени от первоисточника жизни до всех форм сегодняшнего дня, по заниженным оценкам, состоит из тысяч миллиардов ступенек существенных превращений ($10^{12} = 10^9 \text{ лет} \cdot 1000 \text{ превр./год}$) – новых поколений организмов. Можно сказать, что на каждой из этих временных ступенек превращений находятся миллиарды миллиардов (и более, т.е. $\sim 10^{20}$) площадок, занимаемых организмами в пространстве. Эти организмы взаимодействуют между собой попарно (ещё не менее $10^{40} = 10^{20} \cdot 10^{20}$ возможностей). И у каждого из этих организмов в каждый

момент времени (таких моментов $\sim 10^7$ с/год) имелось невообразимое количество возможных путей развития и гибели (во всяком случае, не меньше чем $1\,000=10^3$). А совокупная линия жизни на Земле (включающая в себя линии жизней всех организмов) проходит по одному из этих очень маловероятных $10^{22+60}=10^{(12+20+40+7+3)}$ путей (не менее!), и не обязательно по наиболее вероятному. Из сказанного однозначно следует, что жизнь на Земле не обязана была стать именно такой, какая она есть сегодня (вероятность реализации **именно существующего** сегодня варианта жизни ничтожно мала). Она могла стать и очень похожей, и совсем непохожей на существующую сегодня жизнь. Но какой-то один из многих, сам по себе крайне маловероятный вариант жизни должен был реализоваться. Жизнь во всякий момент времени развивается по какому-то варианту из того состояния, что сложилось к тому моменту. Что-то выживает, а всё не соответствующее существующим в данный момент условиям умирает, выбывает из жизни на каждом шагу.

Что реализация именно наблюдаемой нами сегодня конфигурация жизни крайне маловероятна, видно даже на примере однойцовых близнецов – несмотря на то, что они произошли из одной яйцеклетки, близнецы далеко не идентичны. Они имеют разные отпечатки пальцев, разное расположение кровеносных сосудов, и, конечно же, разные характеры, дополняющие друг друга. То есть совсем не идентичны. Так что конкретная реализация каждого из близнецов (отпечатки, капилляры и т.д.) крайне маловероятна.

Они начали развиваться из одной яйцеклетки, но уже после её первого деления близнецы (пока ещё всего лишь 2 клетки – 2 одноклеточных организма) попали в несколько различающиеся условия. Один расположился слева, другой справа, к ним по-разному начали поступать питательные вещества, они получили несколько различное механическое окружение и т.д. Значит, уже с этого момента близнецы начали различаться. Но при этом оба они находились в очень похожих и благоприятных для себя условиях. Если бы это было не так, их жизни могли бы оборваться ещё на стадии яйцеклетки. Поэтому и выросли дети в материнском лоне до самого своего рождения, родились, а потом, после рождения, продолжили жизнь практически в одинаковых условиях, но уже в

менее благоприятных условиях, чем в материнском организме. Поэтому и похожи, и даже очень, однойцовые близнецы друг на друга, особенно внешне.

Далеко не всегда окружающая действительность благосклонна к самым разным организмам, начиная от простейших вирусов, одноклеточных организмов и до венца природы, каковым мы называем себя – людей.

Начнём с вопроса: что мы называем жизнью? Можно сказать, что живыми мы называем объекты, которые обладают такими свойствами:

- **устойчивость, способность к самосохранению;**
- **стремление к экспансии – распространению, тиражированию себя или себе подобных.**

Но, вооружившись такими критериями, мы должны были бы отнести к живым существам даже кристалл поваренной соли, обладающий некоторой устойчивостью и способный к экспансии – росту при подходящих условиях, например в перенасыщенном соляном растворе.

Поэтому критерии живого следует несколько сузить и изложить в такой редакции:

- **устойчивость, способность к самосохранению в достаточно широких диапазонах изменяющихся условий за счёт адаптации как организма к условиям, так и условий к организму (перемещением относительно среды или её изменением);**
- **стремление к экспансии – распространению, тиражированию себя или себе подобных.**

Но и при таком определении жизни получается, что граница между живым и неживым довольно размыта. Да так оно и есть.

С другой стороны, при таком определении понятия «жизнь» легче увидеть, как эта жизнь могла зародиться миллионы и миллиарды лет назад. Жизнь также зарождается, видоизменяется каждый день, в том числе и сегодня. Некоторые веточки жизни зародились относительно недавно (живые, но берущие своё начало от обломков других клеток, или даже от неживого – порождённые неживым). Часть из них выживают и продолжают линию народившейся жизни в будущее наряду с огромным количеством веточек жизни, произошедших от более ранних веточек жизни. Возможно, именно так иногда появляются новые виды вирусов.

Хотя, конечно же, гораздо вероятнее, что новые виды вирусов являются результатом мутации (изменения) уже существовавших (существующих) форм.

Некоторые веточки жизни, как только что зародившиеся, так и уже имеющие долгую историю жизни прародительских поколений, заканчивают свою линию навсегда – динозавры, саблезубые тигры, мамонты. И другие, менее яркие и представительные образцы жизни служат нам иллюстрацией прерывания некоторых линий живого.

Различные образцы жизни постоянно, от поколения к поколению, случайным образом изменяются как по своим внутренним причинам, так и из-за малейших изменений условий, например от радиационной и геохимической обстановки, от изменения средней температуры. Изменяются они не только под прямым влиянием факторов среды, но также и благодаря наличию специального механизма изменения признаков, наследуемых потомками. Разнополое размножение позволяет случайным образом смешивать в потомках множество свойств-признаков двух родителей и тем самым с большей скоростью порождать отличия в потомках. Эта способность к быстрому изменению просто необходима для приспособления (адаптации) организмов к довольно быстро изменяющимся условиям существования. Оставаясь неизменными или меняясь слишком медленно, сложные и уязвимые организмы просто не смогли бы выжить в условиях, быстро изменяющихся в широких диапазонах. Так что на Земле и во Вселенной существовали бы только простейшие образования, устойчивые в неизменном виде в широких диапазонах внешних условий. А при наличии изменчивости организмов при изменении условий часть потомства погибает, но удачно изменившаяся часть выживает.

Случайные изменения организмов разнонаправлены, поэтому некоторые новообразованные веточки данного вида (со своим случайным набором свойств) оказываются менее приспособленными к условиям, существующим в данное время и в данном месте, в результате чего они или не доживают до возраста, в котором могут осуществить экспансию – породить новое поколение, или становятся менее способными к размножению даже при достижении указанного возраста. Такого рода веточка может не породить новых веточек-потомков, и линия ее жизни может

закончиться тупиком. Данная веточка жизни навсегда закончит своё существование.

Параллельно с такими веточками, которым «на роду было написано – умереть», появляются и развиваются другие веточки жизни, в том числе имеющие общего с обреченными веточками предка. Некоторые из них оказываются более удачливыми, т.е. более соответствующими существующим условиям, изменяющимся как от поколения к поколению, так и на протяжении жизни одного поколения, и более плодовитыми. Они продолжают свою линию в будущее, расширяя, по возможности, свой ареал обитания.

В этом и состоит суть «**естественного отбора**», который точнее было бы назвать **ЕСТЕСТВЕННЫМ ВЫЖИВАНИЕМ** – продолжением линии жизни в потомках. В будущее проходят и идут далее только уцелевшие, выжившие образцы живого, а не отобранные кем-то или чем-то целенаправленно, в соответствии с какими-то определёнными критериями. А те образцы, что не соответствуют сегодняшним условиям, не выживают – навсегда заканчивают свою линию, хотя завтрашним условиям они могли бы соответствовать гораздо больше, чем уцелевшие сегодня (если можно было бы перенести образцы, не соответствующие сегодняшним условиям, в завтрашние условия, минуя сегодняшние, убийственные для них).

После такого вступления легче понять, как могла зародиться и развиваться жизнь. Можно представить себе возможное возникновение и развитие жизни следующим образом. Поначалу это могли быть самокопирующиеся кристаллы типа поваренной соли, но состоящие из структур, менее требовательных к однородности окружающей среды, чем кубики из атомов натрия и хлора. Можно сказать, из структур, более сложных, чем кристаллы соли. Сложность этих составляющих структур обусловлена отсутствием среды с чистым раствором соли – везде существуют какие-то примеси, которые и порождают гораздо большее многообразие форм «кристаллической решетки», чем у поваренной соли. Но, с другой стороны, эти примеси затрудняют точное воспроизведение. Из таких самокопирующихся структур могли складываться уже не маленькие кубики NaCl , а многообразные и более активные структуры, которые могли существовать в несколько более широких диапазонах условий, чем на границе перенасыщенного раствора

поваренной соли. То есть они могли уже более активно отлавливать свои составные части из окружающего раствора. Думаю, такая слизь и сегодня самопроизвольно зарождается и умирает на Земле навсегда чуть ли не каждый день, каждый час. И вот в этом все более многообразном мире самокопирующихся структур при стечении каких-то обстоятельств случайным образом зарождаются и структуры, отделённые от окружающего мира оболочкой и способные к перемещениям, которые уже можно называть организмами.

Надо сказать, что нам, земным существам, очень повезло с условиями во Вселенной вообще и на Земле в частности. Что касается Вселенной, то наше мироздание в масштабах взаимодействий в микромире «обеспечило» подходящие свойства химических элементов, т.е. потенциальное многообразие форм и скоростей процессов. А Земля «обеспечила» такой состав элементов (в количественном отношении) и такие условия (температура, давление) и скорости их изменения, которые дали возможность состояться сложным образованиям – организмам, квазиорганизмам, скорости процессов в которых выше скорости глобального изменения условий окружающей среды. Это позволяло организмам успевать приспосабливаться к изменяющимся условиям. В точности таких планет, как Земля, в условиях которой родилась наша жизнь, астрофизики пока не обнаружили. Но вероятность обнаружения планет с условиями, близкими к земным, скажем, в окрестностях Земли радиусом в десять тысяч световых лет, хоть и мала, но отлична от нуля.

Организмы существовали и существуют не в идеальных условиях. И часто попадают на границу благоприятных и неблагоприятных для себя условий. Если они смогут отреагировать на различие условий в соседних точках пространства и переместятся в точку с более приемлемыми условиями, то они выживут и продолжат свою линию и даже разветвят и приумножат её. Если же не смогут отреагировать, то их линия рано или поздно закончится при встрече с очередной опасностью. Поэтому в природе получают распространение такие организмы, которые могут отреагировать на различия окружающей среды вокруг себя. Для осуществления такой реакции, кроме органа обнаружения и органа движения, понадобился некий механизм, передающий сигнал от места его

возникновения (при обнаружении опасности) к месту, осуществляющему реакцию организма на этот сигнал – аналог нерва-нейрона. Те организмы, в которых случайно образовались подобные механизмы, оказались в более выгодном положении и стали выживать-дублироваться-повторяться с большей вероятностью, тогда как менее приспособленные организмы не смогли продолжить свою линию в будущем.

В процессе жизни оказалось, что не только отдельные одинаковые клетки, но и группы несколько различающихся клеток способны совместно выжить. Появились многоклеточные организмы. Условия существования клеток, расположенных внутри такого образования, существенно отличаются от условий, в которых находятся периферийные клетки. Поэтому для выживания многоклеточного организма необходимым условием является гармоничное, взаимно согласованное развитие исходно одинаковых клеток, но находящихся в разных физико-химических условиях. То есть для этих организмов становится важным соответствие функций исходно одинаковых клеток, имеющих близкого общего предка-клетку, их географическому положению в организме. Так возникла и поддерживалась специализация исходно одинаковых клеток. Причём эта специализация получалась автоматически. Клетки попадали в различные географические условия, а значит, и в разные физико-химические условия, в том числе и по питанию, т.е. по исходному строительному материалу. Потому они и становились различными. С увеличением размера организма становились разнообразнее физико-химические условия в нем самом и в его окрестностях (из-за его размеров). Поэтому выжить большому организму становилось сложнее. Выживали только те организмы, которые быстрее и более адекватно реагировали на разнообразные изменения условий существования организма. Отсюда возникла необходимость в большом количестве измерителей условий – нейронов-рецепторов и передающих устройств – нейронов, передающих сигналы об окружающей действительности (сигналы опасности и удовлетворения) от рецепторов к исполнительным механизмам (эффекторам – движителям различного рода). Не то чтобы кем-то была объявлена такая необходимость (или проведён конкурс), а просто большее количество измерителей увеличивало шансы организма на выживание, продолжение и экспансию своей

линии. Понятно, что лучше выживали и размножались те организмы, в которых в результате ветвящихся цепочек случайных в каждом новом поколении изменений такие итоговые изменения произошли и повторялись впоследствии.

Мы говорим о сигналах опасности (боли) и удовлетворения. Но откуда простейший организм «знает», что нужно держаться подальше от кислоты или поближе к пище? Откуда у него появилось чувство боли? Кто или что «научило» его этому? Полагаю, такое «разборчивое» отношение к опасным и полезным обстоятельствам очень быстро формируется у организма на протяжении всего лишь нескольких поколений под влиянием случайности и необходимости. То есть изначально или после очередной большой мутации у организмов может отсутствовать «правильная», адекватная, «оценка» ситуации. Организм совершенно не различает, что такое хорошо (полезно, питательно) и что такое плохо (больно, опасно). Скажем,

– одна группа организмов реагирует на опасные обстоятельства как на полезные, а на полезные – как на вредные (совершенно неправильно);

– другая группа и к опасным, и к полезным обстоятельствам относится безразлично, не различая их;

– третья группа реагирует на обстоятельства «правильно», адекватно, т.е. в соответствии со значимостью этих обстоятельств для данного организма.

Какая из этих групп организмов выживет? Понятно, что только третья, которая отреагировала на опасность как на опасность, а на пищу как на пищу, хотя их этому никто не обучал. То есть выживет, породит новое поколение и продолжит свою линию жизни в будущее через почти точно таких же потомков только та группа организмов, которая будет соответствовать окружающей действительности – адекватно реагировать на вредные и полезные обстоятельства. Тогда как организмы с «неправильной» реакцией просто уйдут из жизни без потомства, без продолжения своей линии. Если же какой-то из «правильных» организмов случайно, хоть один раз, среагирует «неправильно», его линия также оборвется, потомков у такого организма не будет. И организмов со случайными промахами в будущем также не будет.

Именно из-за отсутствия в окружающей нас жизни организмов с неадекватной реакцией, поскольку они сразу же после первой серьезной ошибки навсегда выбывают из жизни, складывается иллюзия целесообразности, осмысленности всего сущего на Земле. Хотя на самом деле все вокруг есть проявление слепой безразличной случайности. Именно безразличной, а не жестокой! Природа совершенно случайным образом создаёт все допустимые, мыслимые и немыслимые комбинации свойств. Но выживают, продвигаются в будущее и размножаются только те организмы, которым присуща адекватная реакция на окружающую действительность, такие, у которых есть простейшие «правильные» чувства опасности и удовлетворения, которые соответствуют условиям, имеющимся в данное время и в данном месте. Остальные выбывают из игры под названием «жизнь» без потомков, без продолжения своей линии.

Понятно, что у организмов есть некоторый запас прочности, так что не всякая мелкая оплошность, неадекватность реакции грозит гибелью. Присуща некоторая неадекватность и людям. Кто из нас не хватался за заведомо горячие, опасные предметы, а то и прикасался языком к металлу на большом морозе?

В достаточно сложном многоклеточном организме нейронов (рецепторов и проводников-передатчиков) становилось так много, что они уже иногда контактировали друг с другом механически или даже гальванически, образуя сначала простейшие логические цепочки простого типа – проводник–удлинитель–передатчик, а затем и чуть более сложных типов: «если условие1 «И» условие2, то передать сигнал», «если условие1 «ИЛИ» условие2, то передать сигнал». Такие простейшие логические функции настолько просты, что легко могут быть реализованы с помощью нескольких палочек, или обыкновенных швабр, определённым образом расположенных на горизонтальной поверхности (рис 2). При воздействии на входные палочки движение через сооруженную нами систему передачи сигналов (действий) может передаваться или не передаваться слева направо на палочки-выходы. Эти же самые функции легко реализуются и на простейших логических элементах – естественных, или искусственных (кристаллических, электронных) нейронах (рис. 2).

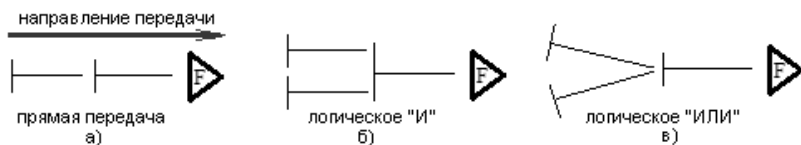


Рис. 2. Логические функции на швабрах

Пояснения к рисунку:

а) Простая передача. Сигнал последовательно проходит вправо через звенья цепочки элементов. В этом случае для передачи движения необходимо присутствие всех звеньев цепочки. Можно сказать, реализуется логическая функция «последовательное «И»».

б) Логическое «И». Реализуется логическая функция «И», но уже «параллельное «И»». Здесь для передачи движения через швабры вправо необходима одновременная активизация двух входов (первого «И» второго). Для активизации элемента (нейрона) необходимо будет их суммарное воздействие. При приходе же сигнала только на один из входов правая швабра просто повернется и не передаст движение вправо.

в) Логическое «ИЛИ». Для активизации следующего элемента-нейрона достаточно возбуждения одного из входов (первого «ИЛИ» второго), т.е. движения одной швабры.

Конечно, логическую функцию из швабр соорудить достаточно легко. Но соответствует ли такая картина действительности? Покажем, что образование таких функциональных, а не буквальных конфигураций вполне возможно.

Во-первых, такое соединение нейронов могло произойти случайно. Если такой организм оказался более живучим, чем другие, то преимущественно он и продолжал свою жизнь и свою линию в будущее, тиражируя в организмах-потомках безусловные рефлексы, образовавшиеся случайно в некотором экземпляре организма. Тогда как менее удачные экземпляры организмов чаще заканчивали свою линию жизни, не произведя на свет следующее поколение.

Во-вторых, могло случиться так, что между возбужденными, т.е. активными в данный момент нейронами стало возможно образование прочных или не очень прочных связей (типа гальванических). А это уже обеспечивало возникновение структур,

на которых может образовываться какой-то долговременный след события, «запоминаться» связь между событиями во внешнем мире, произошедшими приблизительно одновременно и проявившимися внутри организма в виде возбуждения соседствующих нейронов. После образования связи между нейронами при последующем возбуждении одного из нейронов через эту образовавшуюся ранее связь может возбудиться и другой нейрон, связанный с первым возбуждённым. А может и не возбудиться. Вследствие возбуждения второго нейрона организм может выполнить какие-то действия, соответствующие второму, ещё не наступившему событию, которое в прошлый раз возбудило второй нейрон, как бы «предвидя» наступление второго события. То есть благодаря образованию в предыдущем эпизоде следа, связи между элементами организм в следующий раз сможет отреагировать на приход второго события несколько раньше его фактического прихода. И тем самым такой организм, способный к «запоминанию», обеспечивающему последующее опережение – «предвидение» на основе этого запоминания окажется в более выигрышном положении, чем другие организмы, не имеющие такого механизма запоминания. Эти связи, образовавшиеся в ходе жизни, представляют собой по существу (и в более привычной терминологии) условные рефлексы, возникающие не «по рождению», а под влиянием обстоятельств, воздействующих на организм.

Понятно, что организм, могущий реагировать на изменяющиеся окружающие условия и избегать опасностей, имел гораздо больше шансов избежать опасностей и продолжить себя в следующих поколениях организмов, вследствие чего выжили и размножились линии организмов, могущих лучше других реагировать на опасность. Впрочем, такие организмы выживали наряду с более простыми организмами, которые не могли так адекватно реагировать на опасности, но зато в силу своей простоты были более устойчивыми к вредным воздействиям или были более плодовитыми.

Так и стали продвигаться в будущее уже многоклеточные организмы с большим количеством передаточных механизмов-нейронов. Поскольку для выживания оказалось полезным иметь большое количество нейронов, между которыми могли образовываться связи в ходе жизни – в ходе реагирования на разные

условия, то появлялись линии организмов, имевших в себе все большее количество логических элементов – нейронов. Если эти нейроны были не просто разбросаны по организму, а проходили через скопления нейронов, то улучшались условия образования связей между различными нейронами. И организмы с такой компоновкой нейронов с большей вероятностью выживали и порождали жизнеспособное потомство. Так в природе начали появляться организмы с нервными узлами – скоплениями нейронов. Параллельно с процессом увеличения количества нейронов и плотности их размещения появлялись и развивались всё новые специализированные нейроны – рецепторы, реагирующие на различные опасные обстоятельства-раздражители лучше других клеток. В ходе увеличения размеров организма рецепторы и манипуляторы (реализующие действие в ответ на сигнал от среды) оказывались территориально разделёнными, так что сигнал раздражения уже не мог с рецептора попасть непосредственно на манипулятор. Но поскольку в организме появилось множество нейронов, способных возбуждаться и передавать возбуждение дальше, то такие нейроны и стали действовать в роли промежуточных (вставочных), встраиваясь в промежутке между рецептором и манипулятором. Причем нейрону всё равно, с какими соседями образовывать связи (у него нет механизма различения, выбора источников входного сигнала и адресатов). Поэтому начали образовываться самые разные связи между нейронами, в том числе и соседними нейронами различного типа. Чем лучше все это работало, тем больше появлялось шансов у организма продолжить свою линию в будущее, а не прервать ее на первой или второй опасности.

С другой стороны, при ограниченных совокупных ресурсах в природе все даётся какой-то ценой, за счёт чего-то другого. Многочисленные клетки-нейроны нуждались в питании, занимали в организме место, которое могло бы быть занято другими клетками, может быть, иногда более полезными для организма на данный момент (для переваривания пищи, для запасаания питательных веществ и т.д.). Оптимальные пропорции количества клеток разного типа для разных линий организмов складывались в изменяющихся условиях в ходе эволюции при появлении все новых поколений.

Как именно образуются, вернее, **могут** образовываться связи между нейронами в ходе жизни при реагировании на различные

внешние обстоятельства, т.е. при образовании условных рефлексов, при запоминании, при размышлениях, мы рассмотрим несколько позже. А сейчас рассмотрим некоторые аспекты превращения единственной исходной клетки в полноценный зрелый организм, способный к генерации нового поколения.

Клетка, из которой начинает развиваться многоклеточный организм (яйцеклетка), содержит в себе огромное количество информации, однако вполне ограниченное её объёмом. Эта информация вмещает в себя полные сведения только о том, как устроена клетка, какие питательные вещества она может усваивать, какие продукты жизнедеятельности она выделяет и не более того. В ней совершенно нет информации о мире, внешнем по отношению к клетке. Вернее, она присутствует косвенно. Можно сказать, что клетка имеет жёсткие инструкции как вести себя в той или иной ситуации. Можно даже несколько преувеличенно сказать, что клетка имеет детальный план своего локального развития путём самокопирования в условиях, сложившихся к текущему моменту. Но никакого глобального плана, никаких сведений о том, как будет выглядеть многоклеточный организм, который вырастет из этой клетки, в этой клетке содержаться не может – здесь, в клетке, для этих сведений просто нет места. Все, что в ней есть, является информацией об устройстве самой клетки. И уж тем более в клетке не могут содержаться сведения, касающиеся очень сложного, в том числе и общественного поведения индивидуума, который произойдёт из этой клетки – нет места!

Действительно, любой целый объект содержит больше информации, чем его произвольная часть, будь этот объект или его части сколь угодно простыми или сколь угодно сложными. В качестве иллюстрации рассмотрим простейший пример. Пусть большой квадрат (объект) состоит из 4 простейших малых идентичных квадратов (частей), лежащих на плоскости. Понятно, что большой квадрат содержит информации **БОЛЬШЕ**, чем любой из составляющих квадратов. Даже при полной идентичности каждый из малых квадратов должен находиться на определённом месте, для описания которого малые квадраты должны иметь как минимум по 2 дополнительных различающихся бита, необходимых для указания на одно из этих 4 возможных мест. И эти 2 бита дополняют одинаковую информацию, содержащуюся в каждом из

4 малых квадратов. Если бы не было этой дополнительной информации (по 2 бита у 4 квадратов), то квадраты могли находиться где угодно, скажем, все 4 могли лежать на одном месте, или лежать на 2 местах по 2 и т.д. На самом же деле дополнительной информации для объединения 4 малых **идентичных** квадратов в один большой надо намного больше, хотя бы для задания углов поворотов малых квадратов, и т.д. А уж для объединения в один объект **неидентичных** составляющих нужна не только «топографическая» информация о положении, но и полная информация о каждой отдельной части. В качестве полной информации о составной части объекта может выступать полный перечень всех атомов, составляющих эту часть, с указанием с максимально возможной точностью их наименований, координат и импульсов.

Из приведенного рассуждения мы видим, что, несомненно, многоклеточный организм содержит гораздо больше информации, чем произвольная клетка из его состава. В том числе больше, чем исходная яйцеклетка, из которой вырос данный организм, или входящая в состав рассматриваемого организма дочерняя яйцеклетка будущего нового организма, который, возможно, сформируется из нее в следующем поколении. И тем более больше, чем все остальные клетки по отдельности.

С другой стороны, известно, что даже из узко специализированной клетки желудка взрослой лягушки была клонирована вполне нормальная лягушка. Из этого факта следует, что даже в специализированной клетке может содержаться достаточно информации, чтобы **при некоторых условиях** из клетки получился весь многоклеточный организм. Но тогда возникает вопрос – откуда берется информация, необходимая для формирования организма и дополняющая информацию, содержащуюся в исходной клетке? Ответ может быть только один – из окружения. Но из какого окружения? Из таинственных, неведомых, как только не называемых глубин космоса? Или из ближайшего окружения в материнской утробе? Понятно, что из ближайшего окружения, воздействие которого на развивающийся организм неизмеримо больше воздействия далёких объектов и явлений. Информация синтезируется путём её преобразования при взаимодействии активного потенциала питательной среды как источника энергии

преобразований – синтеза и дублирующей клетки (образца). В соответствии с законами термодинамики в рамках небольшой квазиизолированной системы каждая клетка вместе со своими окрестностями стремится к состоянию равновесия – локальному минимуму энергии, из которого клетка регулярно выводится различными внешними воздействиями, например поступлением в окрестности питательных веществ или отходов жизнедеятельности других клеток и т.д. Этот минимум энергии существенно локализован – **клетка может функционировать только в очень узком диапазоне условий** по температуре, давлению и составу окружающей среды. При выходе за пределы этого диапазона (далеко из окрестностей локального минимума) клетка перейдет в состояние более глобального минимума, который, скорее, соответствует смерти клетки, ее распаду.

Процесс формирования нового организма в некотором роде аналогичен процессу в обычной акустической системе, где слабый начальный сигнал (исходная яйцеклетка) подаётся на вход акустической системы (помещается в яйцо с запасом необходимых питательных веществ или в материнскую утробу). Акустический сигнал является образцом, многократно усиливаемым за счёт энергии аккумулятора или другого источника электрического питания под управлением сигнала, подаваемого на вход усилителя акустической системы, в которой превращается в систему акустических волн большой амплитуды (энергии). Ни сам по себе слабый сигнал, ни сам по себе мощный аккумулятор не произведут звука. Но способность усилительной (множительной) системы позволяет многократно усилить сигнал за счёт энергии аккумулятора и выдать достаточно громкий слышимый звук. Точно так же питательные вещества, запасённые в яйце или поставляемые в более продвинутую материнскую утробу из организма матери, как движущая сила преобразований, превращаются во множество копий исходной клетки-шаблона (слегка отличающихся), образуя ткани нового организма.

То есть новый организм вместе с полной информацией, описывающей как его исходную структуру, так и его новые составные части, формирующиеся в ходе его генерации, синтезируется в ходе развития этого организма в результате взаимодействия его частей – уже сформировавшихся клеток с

окружающей их средой. Как это происходит? Да просто каждая новая клетка формируется путём **самокопирования** уже существующих клеток, как самоповторяющихся шаблонов, путём присоединения к ней того материала, питательных веществ, который есть в окрестностях самокопирующейся клетки, а в качестве движущей силы этого процесса выступает энергия, запасенная в окружающих питательных веществах, доступных клетке. Поскольку клетки в ходе формирования организма оказываются в разных географических положениях с различным составом окружающего строительного материала для вновь образующихся клеток, то в разных частях строящегося организма образуются несколько различающиеся новые клетки, сформированные из подходящих доступных для них материалов, имеющихся в их окрестностях. Если же состав окружающей среды не будет благоприятным, то из исходной клетки не сможет вырасти ожидаемый организм. В этом случае сформируется нечто или вообще нежизнеспособное, или какое-нибудь отклонение от нормы в худшую сторону. Последнее утверждение основано на том, что в природе выживают статистически лучшие, оптимальные и близкие к ним организмы.

Чтобы повторить, воссоздать любой объект, в том числе живую клетку, необходимо повторить его вплоть до мельчайших подробностей, до последнего атома с его координатами и импульсом. Это означает, что при **идентичном** дублировании (копировании) должна быть использована **ВСЯ** без исключения информация, содержащаяся в клетке. Если в формирующейся клетке будут отсутствовать всего лишь несколько атомов или даже один ключевой атом, равно как будут присутствовать лишние атомы или будут отличаться их координаты, новая клетка будет уже не идентичной и, возможно, совершенно иной функционально, чем образец.

При объединении нескольких клеток в группу необходима информация, касающаяся расположения клеток в пространстве. Неидентичное дублирование клеток происходит с присоединением дополнительной информации, характеризующей отличительные признаки новых клеток – какие атомы исчезнут, какие добавятся или сместятся.

Эта информация поступает из среды, окружающей клетку, из питательных веществ, которые формируют новую клетку. В

частности, присоединяющиеся к клетке группы атомов уже содержат полную информацию о себе самих. Но если в окружающей среде не будет каких-то атомов, цепочек или блоков атомов, необходимых для строительства новой клетки, то откуда эти атомы возьмутся в составе новой клетки? Отсутствующие и вместе с тем необходимые для построения клетки атомы и блоки будут замещаться, по возможности, похожими блоками. Поэтому вновь сформированная клетка будет несколько отличаться от исходного шаблона. Если же в ближайших окрестностях не найдется необходимого блока атомов или его подходящей замены, то формирование нового жизнеспособного организма просто не сможет произойти.

Ясно, что влияние на формирование нового организма каких-то удалённых вселенских факторов (объектов или субъектов) неизмеримо меньше, чем влияние ближайшей среды. Для обоснования существенного влияния удалённых факторов им пришлось бы приписать сказочную способность дистанционного избирательного воздействия на миллиарды миллионов миллиардов клеток (и это только в телах людей, живущих на Земле, не говоря об остальных организмах), способность одновременно задавать всем этим клеткам детальные линии поведения, указывать способ формирования новых клеток. Очевидно, что существенное влияние на формирование клеток может оказывать только среда, находящаяся в непосредственном контакте с этими клетками, в основном, за счёт доставки соответствующего строительного материала для клеток.

Из приведённого информационного обеспечения вытекает, что в клетке нет и не может быть ни полного образа будущего организма, ни образов разнообразнейших клеток в различных точках формирующегося организма (в разных тканях). Эти образы (сами клетки) формируются в ходе взаимодействия исходной клетки и клеток – её потомков с ближайшей окружающей их средой. На основании сказанного видим, что окончательный вид организма задан в исходной клетке не прямо, а косвенно, **через задание возможных путей развития исходной клетки** и клеток-потомков в зависимости от того, в какую среду они попадают по ходу развития организма.

Поэтому идентичные, совершенно одинаковые исходные клетки, будущие близнецы или клоны, пройдя по близким путям, одинаковым с большой, но не бесконечно большой точностью, становятся почти одинаковыми, но все-таки не идентичными организмами. То есть при взаимодействии даже исходно идентичных клеток с несколько различающейся средой формируются и несколько различающиеся организмы.

Зависимость финального облика организма от среды, окружающей его во время формирования организма, не требует привлечения гипотезы об изменении шаблонов, по которым строится организм и его составляющие, по какому-то заранее предусмотренному свыше правилу. Шаблон локально устойчив и стремится повторяться одинаково. Но результат дублирования (повторения) шаблона при использовании различных доступных строительных материалов из ближайшей окружающей среды существенно зависит от самой среды. Скажем, от среды зависят даже некоторые легко наблюдаемые визуально параметры организма, например чистота кожи или геометрические размеры человека. Если ребёнок не доедает, то его вес и рост будут меньше, чем у нормально питающегося ребёнка, а взрослые люди, недоедавшие в детстве, остаются с меньшим ростом.

Подводя итоги, можно коротко сказать так: в растущем организме исходно одинаковые клетки (шаблоны) в разных условиях ведут себя в соответствии с окружающей их средой. Когда после очередного деления клетка попадает в несколько другие географические условия, режим её питания изменяется – меняются и физические, и химические условия. Так что в изменившихся условиях вновь образовавшаяся клетка растущего организма вместо одних цепочек атомов будет поглощать, присоединять к себе несколько иные, имеющиеся в данном месте и допускающие совмещение со структурой клетки, образовавшейся здесь. Эта клетка станет несколько иной, отличной от клеток в других условиях-местах. При очередном самокопировании, вообще говоря, возможны и необратимые изменения информационного содержания клеток, могущие привести даже к летальному исходу. Таким вот образом происходит специализация клеток в разных частях организма, развивающегося из единственной родительской клетки. И чем больше расходятся условия существования и развития различных

клеток многоклеточного организма в процессе череды делений клеток, тем больше различаются и сами клетки, имеющие одного общего предка – исходную материнскую яйцеклетку. Уже после 37 делений растущий многоклеточный организм человеческого ребёнка, вырастающий из единственной клетки, будет иметь в своём составе более 100 млрд ($2^{37} > 10^{11}$) клеток различного типа. Такой организм будет весить уже несколько килограммов. И он уже готов к рождению – к выходу из материнского лона в окружающий мир.

Всего лишь за 37–40 поколений клеток – потомков материнской в среднем по одному делению-поколению в неделю происходит разительное превращение единственной материнской клетки в сложный человеческий организм, состоящий из огромного количества клеток (сгенерировавшихся за 40 поколений и достаточных для образования новорождённого организма), образующих ткани (специализированные одинаковые клетки) различного типа. И волосок, и пока ещё мягкие кости, и печень, и глаз младенца произошли из единственной материнской клетки, пройдя по разным путям развития! Пути эти определяются как структурой исходной клетки, так и окружающей её средой.

Огромное разнообразие специализированных клеток в различных тканях организма человека, сформировавшееся всего лишь за 40 недель из единственной клетки, позволяет понять и разнообразие форм жизни на Земле, которое образовалось за миллиарды лет (сотни миллиардов поколений), возможно, также из единой протоклетки (первоклетки). Ведь даже ничтожные отличия в каждом переходе от предыдущего поколения к последующему (Π_i), разрастаясь мультипликативно ($\Pi_i \rightarrow (\Pi_i)^{n\text{-миллиард}}$ (n – количество поколений в год), через миллиарды поколений привели бы к гораздо большему разнообразию форм жизни на Земле, чем существует сегодня, если бы все эти формы выжили до настоящего времени. Понятно, что все они выжить не могли. Так, если бы все экземпляры бактерий успешно выживали и делились, то уже через пару недель они покрыли бы всю Землю многометровым слоем.

Благодаря огромной сложности и информационной ёмкости исходной материнской клетки и всех последующих дочерних клеток отличия тканей, образуемых делящимися в несколько отличающихся условиях клетками, могут быть довольно значительны,

несмотря на то, что все они произошли от единственной клетки за сравнительно небольшое количество поколений-делений.

Рассматривая организм в процессе развития, мы видим, что специализация клеток в разных тканях формирующегося организма происходит за счёт различия условий, в которых эти клетки образовывались и развивались в процессе роста, а не за счёт некоей прямой дополнительной информации типа плана, для которой просто не было места в исходной материнской клетке. Где могла бы находиться эта дополнительная информация? Где механизм, который должен был бы интерпретировать эту дополнительную информацию, не поместившуюся в материнскую клетку, и строить вновь образующиеся в результате деления клетки нужным образом в соответствии с неким общим планом?

При рассмотрении организма в процессе развития становится очевидным, что в единственной исходной материнской клетке нет места для информации, формирующей его в соответствии с неким образцом, с генеральным планом. Да и самого генерального плана строительства организма нет. Есть только жёсткие «инструкции» локального поведения клетки в тех или иных условиях, «инструкции» размножения-самокопирования шаблона-клетки путём биохимической (электрохимической) штамповки с максимально возможной точностью с использованием доступной смеси строительных материалов. Эти «инструкции» (сами клетки-шаблоны) вместе с воссозданием одинаковых условий и обеспечивают формирование организмов-потомков, похожих на организмы-предки. Поэтому и похожи сын на отца, а дочь на мать, но в то же время они обладают небольшими различиями, обусловленными как вариациями структур исходных материнских клеток (генного набора), так и вариациями среды.

Из факта, что из **единственной** исходной клетки происходит **множество** самых разных специализированных клеток формирующегося организма, следует однозначный вывод, что **разнообразие** клеток организма **обусловлено особенностями путей развития** каждой группы клеток, условиями, в которых появлялись новые поколения формирующегося организма.

Прокомментируем теперь выражение «**Человек произошёл от обезьяны**», якобы отражающее суть теории эволюции Дарвина. Это

утрирующее выражение очень сильно искажает суть теории естественного отбора.

Как мы уже говорили, эту концепцию следовало бы называть не естественным отбором, а естественным выживанием. Поскольку в природе никто и ничто не отбирает организмы в соответствии с какими-то критериями по их качествам – нет некоего высшего селекционера, успевающего каждую секунду производить миллиарды миллиардов актов отбора организмов, которые будут жить в следующую секунду. Все эти организмы **сами по себе** каждую секунду или выживают и смогут дальше продолжить свою линию в будущее (может быть, даже разветвят, приумножат эту линию в процессе размножения), или погибают в данную секунду, навсегда прерывая свою линию. Условия существования организмов могут изменяться так быстро, что изменения организмов в результате мутаций могут не обеспечивать достаточной скорости изменений организмов (отвечающих скорости изменения условий). Поэтому в природе появился и развился двупольный механизм размножения, позволявший организмам изменяться быстрее, чем только по причине *мутаций* – не только в результате мутаций, но и в результате *наследования* более сильных черт двух различающихся родительских организмов.

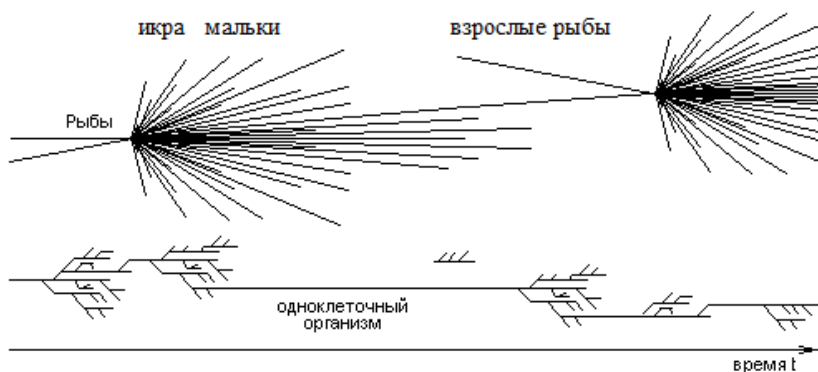


Рис. 3. «Деревья» жизней рыб и одноклеточных организмов

Жизнь на Земле можно рассматривать, начиная с возникновения некоторого «прародительского» организма, пусть даже не самого первого. Этот организм, возможно простейший, растёт, достигает возраста размножения (деления). Линия организма при этом разветвляется на несколько веточек. Обычно на две для одноклеточных или более веточек, например, у рыб (рис. 3). Вообще говоря, эти веточки различны. Изменчивость веточек является необходимой. Она даёт виду возможность изменяться, приспосабливаться к постоянно меняющейся окружающей обстановке. Без этой изменчивости виду может грозить гибель даже при небольшом изменении условий существования, поскольку диапазон условий, пригодных для успешного существования данного организма в его неизменном «сегодняшнем» виде, достаточно узок. Побочным продуктом изменчивости организма, кроме основного – «размножиться путём повторения себя», является появление новых видов организмов, на первых этапах незначительно отличающихся от своих близких предков и родственников, но через множество поколений уже существенно отличающихся от своих далёких предков и ныне существующих родственных видов, произошедших от одних и тех же самых общих предков.

После ветвления-размножения уже новые, несколько отличающиеся организмы-потомки ведут в будущее свои линии-веточки. Так что жизнь первоначального родительского организма и всех новых поколений его потомков может быть изображена в виде генеалогического дерева. Линии многих потомков любого организма заканчиваются тупиками – их линии-веточки обрываются без продолжения в будущее. Многие же линии продолжают в будущее и живут до сих пор, в том числе и в настоящую секунду. Скажем, динозавры, мамонты, вымерли, а мы, люди, живем. При этом мы имеем и с динозаврами, и с мамонтами далёких общих предков в очень далёком прошлом в сотни миллионов лет.

Точно так же мы имеем общих предков с ныне живущими обезьянами, но уже на расстоянии каких-то миллионов лет от нынешнего времени (десятков или сотен тысяч поколений). То есть ныне живущие обезьяны являются не нашими предками, а нашими далёкими братьями, хотя и гораздо более близкими родственниками, чем слоны или крокодилы. Причем с течением времени и с

появлением все новых поколений наши с обезьяной родственные связи становились все более далёкими.

Следует отметить, что жизнь на Земле могла зарождаться многократно. Она, возможно, изредка зарождается и сегодня, точно так же, как миллиарды веточек жизни гибнут навсегда каждую секунду. На это указывают достаточно частые мутации даже очень устойчивых к изменению внешних условий простейших организмов – вирусов. Возможно, хотя и менее вероятно, что из фрагментов вирусов, которые уже нельзя назвать живыми организмами, вполне может образоваться более сложная жизнеспособная форма. Так что если мы изобразим жизнь на Земле в виде дерева, то она будет выглядеть примерно так, как показано на рис. 4.

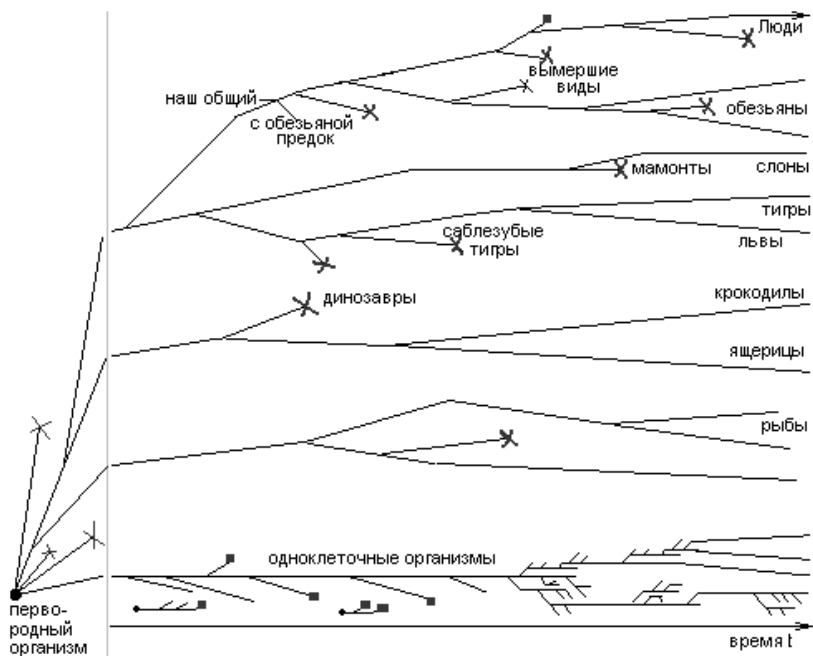


Рис. 4. Дерево жизни на Земле

Почему организм может погибнуть и тем самым оборвать свою линию жизни? На это имеется масса причин, включая неотвратимые причины типа смерти от старости, которая наступает в результате накопления в организме количества отклонений параметров в геометрической прогрессии от их исходных оптимальных значений.

Для организма одни и те же параметры при их различных значениях могут быть как полезны, так и губительны. Например, одноклеточный организм может погибнуть как из-за слишком высокой, так и из-за слишком низкой проницаемости своей оболочки. В то же время при некоторой срединной проницаемости этой оболочки организм счастливо доживёт до своего деления и удвоится. Возможно, какие-то олени вымерли из-за трудностей в защите потому, что у них были слишком маленькие рога. Или наоборот, другие олени вымерли из-за того, что рога были слишком велики, затрудняя жизнь в густом лесу. А может быть у этих оленей ноги оказались недостаточно быстрыми, или шерсть оказалась слишком короткой в холодной местности, или слишком длинной в жаркой местности, а может просто глазомер подвёл, снизив способность быстро ориентироваться в этой многообразной жизни.

МОЗГ – ОРГАН ПРЕДВИДЕНИЯ **(на основе прошлого опыта)**

Наличие развитой нервной системы, состоящей из многих логических элементов-нейронов, связанных должным образом, способствует выживанию и экспансии (процветанию) организма. С этим трудно не согласиться. Но каким именно образом способствует? Каков механизм полезности нервной системы для организма? Как информация фиксируется в мозге и как извлекается из него? Как формируется и протекает мысль? На эти вопросы пока **не существовало конструктивного ответа**, который позволил бы на принципах функционирования естественного мозга создать искусственный носитель разума – существовали только общие декларации.

Если для высокоразвитых организмов, например для человека, полезность нервной системы не вызывает сомнений, то для организмов с простейшей нервной системой механизм полезности НС для организма остается непонятым. До сих пор было совершенно непонятно, каким именно образом простейшая нервная система из 2–20 нейронов способствует выживанию организма, как она позволяет избегать опасностей, как образуются рефлексы? Как происходит запоминание в центральном головном мозге хоть на уровне неконтролируемых рефлексов, хоть на уровне абстракций? Поскольку непонятен механизм полезности для организма простой нервной системы, то непонятен и механизм эволюционного пошагового перехода от простейшей нервной системы, состоящей из одного-двух нейронов, к простой и, далее, развитой нервной системе. Как за миллионы лет (сотни миллионов или миллиарды поколений) был совершен переход от организмов без нервной системы сначала к организмам с безусловными рефлексам, а затем к организмам с развитыми условными рефлексам? И, в конце концов, к организмам, способным к абстрактному мышлению?

Именно из-за этого непонимания прибегают иногда в объяснении картины мира к подмене эволюции маловероятным и даже невозможным одноразовым скачком – творением.

И хотя сегодня пока нет признанного взгляда на логику, на принципы функционирования нервной системы – логику взаимодействия нейронов даже простейших организмов, некоторые черты этого функционирования известны достоверно. А именно, по мозгу распространяются электрические сигналы, формируемые возбуждёнными активными элементами – нейронами. Нейрон возбуждается, когда сумма потенциалов на его входах превышает некоторый пороговый уровень. Возбуждённый нейрон за счёт расходования накопленных в нём питательных веществ выдаёт сигнал определённой энергии (стандартного потенциала и длительности), что позволяет сигналам распространяться без затухания по ветвящимся структурам мозга дальше. Нервные импульсы возникают при воздействии раздражителей – факторов окружающей среды на рецепторы – входные цепи мозга, и транслируются, распространяются по структурам мозга. Итоговая реакция организма на поступившие входные сигналы (раздражители) определяется тем, какие мышцы или железы внутренней секреции будут активированы мозгом (НС), т.е. местом выхода из НС на определённый исполнительный механизм (манипулятор) сигнала реакции НС организма. Из этого следует, что реакция НС организма на раздражитель зависит от того, по какому пути распространяется от входа НС к её выходу сигнал раздражения, подействовавшего на организм. Так что реакция организма зависит от конфигурации входных сигналов и структуры НС (возможных путей следования сигналов по связям между нейронами) на момент прохождения сигнала через НС. С другой стороны, известно, что структура мозга со временем изменяется. Особенно быстро количество связей между нейронами возрастает при интенсивном обучении [7–9]. Отсюда вытекает, что при обучении в НС (в мозге) образуются новые пути следования сигналов. Так что в отличие от распространённых сегодня устройств, в которых информация записывается в специализированный блок памяти, считывается из него и интерпретируется другим специализированным блоком, в биологической НС устройства хранения и интерпретации

(использования) информации совмещены и распределены по всему объёму мозга!

Простым делением количества возможных связей в мозге человека (15 млрд нейронов с 10 тыс. дендритов $=1.5 \cdot 10^{14}$) на время жизни мозга в 100 лет получаем общую среднюю скорость образования связей во всех зонах мозга около 30 тыс. связей в секунду. Огромная скорость образования связей заставляет сделать вывод, что в мозге нет единой зоны сортировки информации и управления образованием связей по всему объёму мозга, но **действует единый для всей нервной системы, для всего мозга принцип образования СВЯЗЕЙ.**

Процедура образования связей должна быть очень простой, иначе невозможно обеспечить не только скорость их образования, но даже само образование связей по всему объёму мозга без вмешательства быстродействующей квалифицированной «команды монтажников». Локальность механизма образования связей между нейронами вполне очевидна для начала жизни организма, когда мозг ещё совершенно «чист», в нём ещё только появляются первые нейроны, а затем и пока малочисленные связи между ними. А затем связи устанавливаются с огромной скоростью.

Об огромной средней скорости образования связей в мозге человека мы должны помнить постоянно при рассмотрении любых аспектов функционирования мозга. Хотя бы по той причине, что все наши воззрения, представления о различных сторонах работы мозга должны быть согласованы друг с другом.

Причём связи в живом организме устанавливает не квалифицированный инженер, и даже не ребёнок, складывающий пирамидку. По какому же принципу образуются связи между нейронами? Для ответов на эти вопросы нам представляется продуктивным подход, основывающийся на рассмотрении эволюции организмов от простейших вплоть до человека (и далее?). Связи образуются сами по себе, под влиянием обстоятельств, в которых оказываются нейроны, между которыми и образуется связь, соответствующая текущим обстоятельствам. Каждая связь образуется **между ДВУМЯ** нейронами. Поэтому для образования связи между ними имеет значение исключительно состояние этих двух нейронов, **и ничего более!** Никаких прямых влияний из неведомого далёкого окружения! Ближнее же окружение

возбуждённых нейронов может влиять на образование парных связей лишь косвенно, влияя на состояния каждого из связывающихся нейронов.

Рассмотрим простейший организм, имеющий в своём составе всего лишь 2–3 нейрона, располагающихся так, что возможно образование логических связей между ними. Скажем, нейроны находятся в механическом контакте. Каждый нейрон имеет несколько входов-дендритов – потенциальных связей. Но пока эти возможные связи ещё не образовались: механический контакт есть, а электрической связи ещё нет.

Пусть на соответствующие рецепторы этого организма примерно в одно и то же время или с некоторым разбросом во времени подействовали два фактора, например, запах и жжение, что привело к возбуждению двух нейронов, 1-го и 2-го. Причём один из этих факторов сравнительно безвреден для организма, а второй вреден настолько, что может привести к гибели организма, если организм не «убежит», не избавится своевременно от воздействия 2-го фактора. Организм по безусловному рефлексу через сигнал «опасности» реагирует на 2-й фактор (возбуждается Н2, который активизирует движитель) и «убегает», если успевает!

Рассмотрим диаграмму состояний нейронов 1 и 2 («возбуждён»/«не возбуждён»), развернутую во времени t (рис. 5), при воздействии на их входы факторов 1 и 2. Факторы жизненно важны для организма, управляемого этими нейронами.

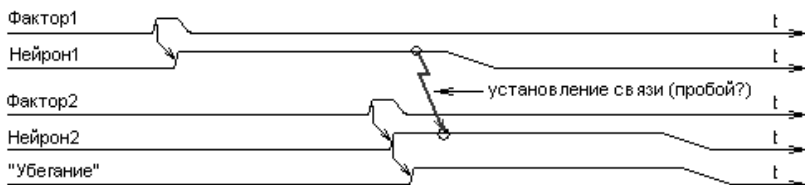


Рис. 5. Возбуждение нейронов 1, 2 вследствие раздражений от Факторов 1, 2 и образование связи между возбуждёнными нейронами

Пусть Фактор1 предшествует Фактору2, причём Фактор2 более опасен для организма, чем Фактор1. Факторы (раздражители) при их появлении возбуждают соответствующие нейроны через отдельные

входы. Кроме того, появление Фактора2 вызывает безусловную реакцию – организм смещается, отодвигается от Фактора2, так что Фактор2 перестаёт воздействовать на организм (на его рецепторы). Нейроны имеют множество входов, через которые они могут быть возбуждены.

Зададимся вопросом. Что будет происходить с данным организмом в дальнейшем, если организм успеет убежать, «отползти», уклониться от летального воздействия вредного Фактора2, а в организме остался след рассмотренного события, заключающегося в том, что нейроны 1 и 2 были некоторое время одновременно возбуждены. Но след этот не внешний, скажем, царапина или рубец, а внутренний, имеет вид связи между двумя Нейронами 1 и 2, образовавшейся в тот момент, когда они оба были возбуждены. Эта логическая связь могла образоваться любым возможным способом, например механическим, гидравлическим или гальваническим. Причём возможны как минимум два варианта такой связи:

- а) выход Нейрона1 (Н1) на вход Нейрона2 (Н2),
- б) выход Нейрона2 на вход Нейрона1.

Отметим попутно, что связи между собственными входами и выходами возбуждённых нейронов маловероятны из-за пространственного разнесения входов и выхода одного нейрона – коротких дендритов и длинного аксона.

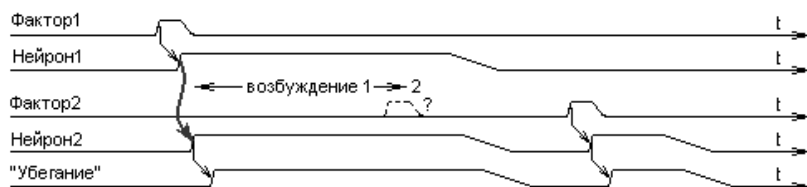


Рис. 6. Возбуждение Нейрона2 от Фактора1 через образовавшуюся связь Нейронов 1 и 2

Пусть реализовался вариант «а» (о возможности реализации варианта «б» мы поговорим в следующих главах). Тогда впоследствии события будут протекать следующим образом: при возбуждении в следующий раз одного из ранее связавшихся между собой нейронов Н1 сразу же через связь с выхода Н1 на вход Н2,

образовавшуюся в предыдущем эпизоде, будет возбуждаться и другой нейрон Н2, хотя на него ещё не действует вредный Фактор2. И может вообще не подействовать в рассматриваемом эпизоде. Так что приведённая диаграмма на рис. 5 будет выглядеть уже по-другому (рис. 6).

То есть **наличие ранее образовавшейся связи** между нейронами **обеспечивает** в дальнейшем следующий порядок развития событий: в результате воздействия Фактора1 возбуждается Н1, который через ранее образовавшуюся связь сразу же возбуждает Н2. Можно сказать, что на основе факта возбуждения Н1 происходит однозвенный прогноз прихода сигнала на Н2 через посредство связи Н1–Н2. Организм сразу же реагирует на возбуждение Н2 и «убегает», хотя Фактор2 ещё не появился, а возможно, и не появится, или уже не подействует на организм из-за «предусмотрительного», а на самом деле – просто опережающего «убегания», уклонения благодаря наличию образовавшейся ранее связи между выходом Н1 и входом Н2. Так что организм с простейшей нервной системой из двух нейронов в результате предыдущего «приобретения опыта» – возникновения связи между двумя возбуждёнными нейронами Н1 и Н2, которую можно назвать элементарной памятью или элементом памяти, **ЗАРАНЕЕ, С ОПЕРЕЖЕНИЕМ** отреагирует на Фактор2. **Как бы предвидя** его появление благодаря образованию в предыдущем эпизоде и существованию в дальнейшем связи Н1–Н2, эквивалентной запоминанию факта приблизительно одновременного действия Факторов 1 и 2 в какой-то момент времени в предыдущем эпизоде. Такая опережающая, и тем самым упреждающая опасность реакция организма с простейшей нервной системой, способной к «запоминанию», несомненно, будет способствовать выживанию организма и его последующей экспансии вопреки возможному воздействию вредного Фактора2.

Поскольку организмы существуют в материальном мире, в котором происходят события, обусловленные причинно-следственными связями, то в природе происходят не случайные, разрозненные, не связанные между собой события, а цепочки причинно обусловленных событий. То есть за событием А практически всегда следует целая последовательность причинно обусловленных событий В, С, D и т.д. Так что в различных эпизодах

практически всегда за одинаковыми событиями-причинами следуют одинаковые же события-следствия. Например, запах предшествует жжению, вид и звук летящего камня предшествуют удару этого же камня, вспышка при выстреле (скорость сигнала 300 000 км/с) предшествует прилёту пули (скорость 0.5 км/с) и приходу звука выстрела (скорость 0.33 км/с). Тот факт, что события связаны в повторяющиеся последовательности, и даёт организмам возможность с опережением прогнозировать приближение опасного события посредством обнаружения событий из этой последовательности, предшествующих опасному событию.

Опережающее обнаружение опасных событий возможно, если предыдущее прохождение цепочки событий оставило след – связь между нейронами. Образование такого следа, связи между двумя нейронами возможно при совпадении некоторых условий, скажем, возникает проводящий канал в диэлектрической плёнке в результате её электрического пробоя при достаточно большой разности потенциалов на разных поверхностях плёнки, отделяющей входы от выходов. Следы, оказывающие существенное влияние на ход последующих событий, можно наблюдать и в обычной жизни.

Проиллюстрируем образование следов наглядным примером. Так, автомобиль или пешеход не оставляет существенного следа на сухом лугу. Но, если луг мокрый, то автомобиль своим весом продавливает размягчённую почву, и на лугу остаётся существенный след – колея, которая уже будет влиять впоследствии на проезд других автомобилей хоть в сырую, хоть в сухую погоду. А вот пешеход на сыром лугу может и не оставить, и оставить след (если пешеход достаточно грузен). Точно так же, в зависимости от обстоятельств, какие-то связи в нервной системе вообще и в мозге в частности могут образоваться, а какие-то могут и не образоваться.

Из-за причинной обусловленности событий впоследствии обычно, или хотя бы иногда, Фактор2 из нашего примера будет следовать за Фактором1. Но организм будет уже заранее, ещё до прихода вредного Фактора2, по следу, оставшемуся в организме в предыдущем эпизоде, «предусмотрительно» реагировать на него. Иногда вхолостую, поскольку вредный Фактор2 не придёт. И «убегать», сохраняя свою жизнь и продолжаясь впоследствии в потомстве, повторяя и в потомках очень полезную способность запоминать пары факторов, действующих примерно в одно время.

В этом и состоит полезная функция памяти – «предвидения» – опережающей реакции на основе опыта, полученного ранее.

Организм, обладающий способностью «запоминать», пусть даже на 2-3 нейронах, с несколько большей вероятностью выживет и породит потомство, подобное себе, т.е. со способностью к запоминанию и использованию «приобретённого опыта», тогда как не обладающие таким свойством организмы с большей вероятностью прекратят линию своего существования.

Попытаемся оценить в цифрах полезность для организма нервной системы, способной к образованию связей между нейронами, которые были возбуждены примерно в одно и то же время. Для этого совсем необязательно проводить модный и таинственный компьютерный эксперимент. Вполне достаточно обычного калькулятора.

Пусть существовало две разновидности организмов: более простая разновидность O1 – без возможности образования связи между возбуждёнными нейронами и разновидность O2 – с возможностью «приобретения опыта» – образования связей между двумя возбуждёнными нейронами. И пусть в некоторый момент происходит изменение условий существования – начинает иногда происходить некоторая последовательность событий, одно из которых в ней опасно для существования организма.

Каждый раз, сталкиваясь непосредственно с опасным событием D, организм O1 выживает с вероятностью 0.8. Тогда как более сложный организм O2 при таком же столкновении выживает с вероятностью 0.7, меньшей из-за сложности организма! Поскольку каждая возможность, включая образование связей, чего-то стоит, поэтому стойкость организма O2, скорее всего, меньше стойкости O1. Зато при последующих столкновениях с предшествующими неопасными событиями опасной последовательности организм O2 довольно часто сможет за счёт «опыта», полученного ранее, и опережающей реакции на его основе, избежать непосредственного столкновения с опасным событием D, так что вероятность выживания организма при повторных столкновениях с опасной последовательностью существенно увеличится, скажем, до 0.9.

Положим, что за время жизненного цикла от одного деления до следующего оба организма (и O1, и O2) сталкиваются с опасной

последовательностью в среднем по 4 раза. Оценим математическое ожидание количеств организмов O1 и O2 после прохождения одного жизненного цикла с удвоением в конце каждого цикла размножения:

$$M_{O1_11}=0.8, M_{O1_12}=0.8 \cdot 8=.64, M_{O1_13} =0.8 \cdot .64=.512, M_{O1_14} =$$
$$=0.8 \cdot .512=.4096.$$

$M_{O1_21}=.4096 \cdot 2 = 8192$, т.е. небольшое уменьшение численности в конце цикла.

$$M_{O2_11}=0.7, M_{O2_12}=0.9 \cdot 0.7=.63, M_{O2_13}=0.9 \cdot .63=.567, M_{O2_14} =$$
$$=0.9 \cdot .567=.5103.$$

$M_{O221}=.5103 \cdot 2 = 1.0205$ – в среднем малое увеличение численности популяции таких организмов в конце цикла после размножения клетки удвоением.

Так что после первого, второго, третьего... жизненного цикла (после удвоения, деления пополам) останется существовать в среднем:

$$M_{O1_14}=.8192 \cdot O1, M_{O1_24}=.8192 \cdot .8192 \rightarrow .6711 \cdot O1, 5498 \cdot O1,$$
$$4504 \cdot O1.$$

$$M_{O2_14}=1.0205 \cdot O2, M_{O2_24}= 1.0205 \cdot 1.0205 \rightarrow 1.0416 \cdot O2, 1.0631 \cdot O2,$$
$$1.085 \cdot O2.$$

Здесь M_{O2_21} обозначает математическое ожидание количества организмов типа O2, получившихся из одного исходного организма во 2-м жизненном цикле на 1-м шаге.

Видим, что, несмотря на свою меньшую стойкость при непосредственном столкновении с опасным событием, организм O2 за счёт «приспособления» (избегания опасных ситуаций) сможет выжить, тогда как O1, не обладающий таким свойством «приспосабливаться» (здесь речь идёт только о поведении, а не о строении тела), будет уменьшать свою численность, и, в конце концов, прекратит существование, несмотря на свою большую способность прямо противостоять опасному фактору. Изменение математического ожидания количества организмов O1 и O2 изображено графически на рис. 7.

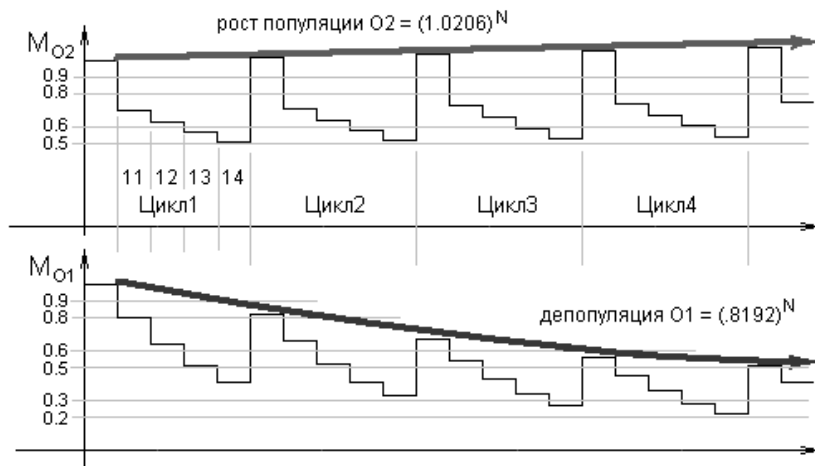


Рис. 7. Увеличение численности организмов O2, могущих использовать опыт; уменьшение численности организмов O1, не использующих опыт

Конечно, цифры, использованные при нашей оценке, достаточно произвольны. И всё-таки проведённый расчёт позволяет наглядно представить в цифрах преимущества организмов, способных «обучаться». В ходе оценивания способности организмов выживать становится понятно, что организмы, даже более уязвимые при непосредственном столкновении с опасным фактором, благодаря многократному использованию приобретённого ранее опыта, с опережением избегая опасностей при повторных столкновениях с опасными последовательностями, смогут выживать с большим успехом, чем организмы, не способные приобретать и использовать предыдущий опыт столкновения с опасными последовательностями событий.

Понятно, что соотношение скоростей размножения, вероятностей выживания организмов разных типов при их непосредственном столкновении с опасным фактором, их способности к приобретению опыта, вероятности выживания организмов при повторных столкновениях с опасными последовательностями событий, частота приходов этих последовательностей в совокупности и определяют, какие организмы будут выживать, а

какие сократят свою численность до нуля. В зависимости от значений всех этих параметров смогут выживать и простейшие организмы, и сложные организмы, усложняющиеся с каждым новым поколением.

За счёт увеличения шансов организма на выживание и генерации более успешного потомства наряду с выбыванием из жизни менее приспособленных образцов и происходит достаточно быстрая эволюция организмов с выживанием как простейших стойких организмов, так и менее стойких, зато лучше приспособляющихся к изменяющимся условиям организмов, со всё возрастающим количеством нейронов, способных к запоминанию, вплоть до появления «венца» природы – человека.

Отметим, что наша логика, и формальная математическая, и историческая, и интуитивная, и житейская, по существу, построена на простейших связях, образующихся между нейронами. Суть каждого звена логики, материализованной в мозге в виде связи между парами нейронов, образовавшейся в какой-то момент времени между пребывавшими в возбуждённом состоянии нейронами и зафиксировавшей факт их одновременного возбуждения, может быть изложена в таком виде:

ЗА ФАКТОРОМ1 СЛЕДУЕТ ФАКТОР2.

Образовавшись однажды, эта связь в дальнейшем при возбуждении нейрона (Фактор1) сразу же будет вызывать возбуждение нейрона (Фактор2). Фактор может быть как элементарным, т.е. простейшим, неразложимым на составные факторы, скажем, сигнал от рецептора (непосредственно или через прямые передачи), так и очень сложным, сформировавшимся при взаимодействии нескольких первичных факторов и их далёких следствий, по существу, представляющим собой значение большой сложной логической функции. Аргументами этой функции являются факторы, действующие на входы нейронов предыдущих звеньев переплетающихся логических цепочек, реализованных на последовательностях взаимосвязанных нейронов. Так что к рассмотрению некоторой основной, непосредственно рассматриваемой связи между двумя понятиями – нейронами нашего мозга добавляются множество связей, уточняющих суть Фактора1. Они

сводятся к проверке условий, при которых такое следование имеет место, типа: «если ФакторК, и ФакторЛ и...». Можно сказать, что любой рефлекс, любое созерцательно-повествовательное высказывание, любая мысль, любое суждение могут быть отображены в виде последовательности логических конструкций вида «если Φ_1 , и Φ_2 ,..., и Φ_N », то следует Φ_Z . А такая конструкция взаимно однозначно укладывается в предлагаемую нами схему отображения в человеческом мозге фактов одновременного возбуждения пар нейронов путём образования связи между ними. Возможность такого однозначного отображения является достаточным условием, чтобы процессы в центральной нервной системе могли моделироваться по нашей схеме. С другой стороны, оно не является необходимым, т.е. мы не утверждаем, что невозможно существование других способов однозначного отображения наших нервных процессов в рамках каких-то других моделей.

Следует отметить, что наши человеческие умственные способности в общем-то недалеко ушли от элементарного запоминания простейших однозвенных причинно-следственных связей между наблюдаемыми явлениями и последующим предвидением этих простейших зависимостей на основе именно этого предварительного запоминания, а не в результате скрупулезного анализа – выявления длинных причинно-следственных цепочек с возможными ошибками рассуждений. Только помним мы очень много, потому что у нас много нейронов и связей между ними. Поэтому и слышим мы часто, а иногда и сами говорим: «Если бы я знал, что такое может быть!». Хотя при целенаправленном анализе, хотя бы в два звена, или при знакомстве с широкой практикой других людей мы легко смогли бы заранее увидеть, что такое, непредвиденное нами, вполне возможно и бывает!

Конечно, из-за многообразия жизни не все так просто, как мы изобразили. Но, как видим, простота утрачивается не из-за сложности самих взаимодействий между отдельными нейронами мозга, а из-за огромного количества факторов, воздействующих на организм, и необходимости ориентироваться с помощью огромного количества нейронов и связей между ними во всем этом огромном многообразии вредных или полезных факторов окружающего мира, в котором мы живем.

Так, если в нашем примере в следующий раз одновременно будут возбуждены Нейроны 1 и 3, то в соответствии с нашими рассуждениями наряду с уже существующей связью 1–2 образуется связь между Нейронами 1 и 3. Поэтому при последующих возбуждениях Нейрона 1 будут происходить действия организма, порождаемые возбуждением Нейронов и 2, и 3 (возможно, противоположно направленные). Как же сможет организм адекватно отреагировать на существующие многообразные условия? Ответ приводится несколько ниже, где мы в главе «Механизмы памяти» рассматриваем переучивание.

Можно сказать, что мы рассмотрели описание основы механизма функционирования НС (мозга). Ниже мы опишем необходимые принципиальные, но всё же детали, которые мы пока как бы не замечали, чтобы не загромождать процесс понимания логики функционирования мозга.

Мы рассмотрим не только «скелет» (основу) принципов функционирования НС (мозга), но и другие аспекты функционирования мозга, сопутствующие основным и проявляющиеся при реагировании мозга на различные воздействия окружающей среды, которые препятствуют безоблачному существованию организма и поэтому заставляют мозг работать во спасение организма. Сделаем мы это для того, чтобы наши рассуждения стояли на крепком фундаменте и подкреплялись с разных сторон, а не оказались висящими в воздухе.

ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОЗГА (естественного и искусственного)

В этой главе мы рассмотрим принципы, важные детали механизма функционирования мозга, которые дополняют важнейшее свойство НС образовывать следы произошедших событий и использовать эти следы впоследствии. Эти дополнительные черты обеспечивают для НС возможность выполнения множества функций, без которых работа НС не была бы такой успешной.

Как мы уже говорили, след события в виде связи между двумя нейронами, образовавшейся в предыдущих эпизодах, позволяет НС организма впоследствии делать однозвенный, одноступенчатый прогноз и уклоняться от простейшей опасности. А при увеличении в составе НС количества нейронов происходит расширение возможностей НС. Происходит это следующим образом. Поскольку у нейрона нет (и не может быть) механизма отслеживания источника и истории сигналов, поступающих на его входы, то на возбуждение нейрона влияют только величины сигналов на его собственных входах и состояние входов (их веса). Поэтому образуются связи не только между входными нейронами, передающими сигналы от рецепторов к следующим нейронам и к нейронам-эффекторам (управляющим исполнительными механизмами), но и между возбуждёнными нейронами самых разных типов, находящимися в механическом контакте. Эти связи объединяют множество нейронов в различные цепочки произвольной длины, в том числе ветвящиеся и пересекающиеся. Цепочки превращаются в деревья и графы. Так что сигнал, вошедший в НС (мозг) через рецептор, может долго бродить по цепочкам внутри НС, пока не выйдет из неё на какой-нибудь манипулятор (мышца, железа внутренней секреции) или не угаснет на очередном этапе перехода от одного нейрона к следующему. И такая НС с многозвенными цепочками связей производит уже не однозвенные, а многозвенные прогнозы. По

существо, у организма появляется способность к мышлению. Поначалу – к примитивному (при коротких цепочках), а по мере усложнения деревьев и графов связей – к всё более развитому (когда эффективная длина цепочек становится бесконечной за счёт различных обратных связей, имеющих много звеньев).

Готовность мозга к генерации некоторой мысли можно наглядно представить себе в виде цепочки стоящих костяшек домино. Протекание мысли (возбуждение нейронов в цепочке) аналогично последовательным падениям костяшек домино, стоящих в ряду. Падение каждой предыдущей костяшки домино вызывает падение следующей и т.д. Точно так же, как и падение костяшек домино, течение отдельных фрагментов мысли нельзя остановить – мысль появилась и пропала, прошла дальше (нейрон возбудился, потратил порцию питательных веществ и снова перешёл в невозбуждённое состояние), вызвав появление следующего звена мысли, связанного с предыдущим звеном, а также в соответствии с текущими обстоятельствами.

Если бег мысли можно представить себе как последовательное падение костяшек в дорожке домино, то возникает вопрос: кто или что выстроило эту дорожку, связало цепочку нейронов? Из рассмотренного выше следует, что именно предыдущий опыт в широком смысле этого слова устанавливает, образует по ходу жизни связи между отдельными нейронами, связывая их попарно в звенья, образуя при этом цепочки. То есть именно предыдущий опыт «выстраивает ряды, дорожки костяшек домино». А текущие обстоятельства, отображаемые органами чувств в виде сигналов разной значимости, можно сказать, подталкивают очередные фрагменты мысли, а также действуют на разветвления мыслей – какая дорожка костяшек домино будет задействована (из нескольких возможных на данном разветвлении).

В связи с проводимой аналогией возникает вопрос – а что поднимает, устанавливает в рабочее состояние, возводит костяшки домино или фрагменты мыслей после их очередного падения-разрядки? Здесь аналогия представляется такой: последовательное возбуждение нейронов, образующих цепочку, есть пробег последовательных фрагментов мысли, реализованной на цепочке нейронов. Предыдущий фрагмент мысли вызывает появление следующего фрагмента. В этом процессе нейроны разряжаются

(падают костяшки домино) и некоторое время не смогут быть повторно возбуждены, так как им нужен отдых (время) для восстановления работоспособности путём накопления в себе неких питательных веществ. Видимо, именно поэтому мозгу нужен сон – для восстановления сил, для «зарядки» нейронов, разрядившихся при возбуждении во время бодрствования.

Можно попытаться отыскать принципы работы человеческого мозга на основе двух основных положений. Во-первых, работа мозга – это параллельная асинхронная работа огромного числа связанных между собой достаточно медленных логических элементов – нейронов (со временем переключения в десятки и даже сотни миллисекунд), на которых следы событий фиксируются посредством образования связей между нейронами, находящимися в возбуждённом состоянии. Во-вторых, через свои уже имеющиеся связи нейроны могут возбуждать друг друга, образуя цепочки последовательно возбуждаемых нейронов различной длины и конфигурации.

Мы попытаемся определить эти принципы, соответствующие работе естественного мозга (ЕМ) человека. На этих же принципах может быть создан и искусственный мозг (ИМ), искусственный носитель интеллекта (ИНИ). Искусственный мозг может быть построен на разной элементной базе – как на электронных комплектующих 50-летней давности, так и на основе последних достижений современной микроэлектроники. Понятно, что при этом будут существенно различаться быстродействие, габариты и надёжность (устойчивость ИМ к воздействию всякого рода помех – вредных факторов).

Возможно, найденные нами принципы не совсем соответствуют процессам, происходящим в голове обычного человека (с естественным мозгом). А уж детали взаимодействия логических элементов, из которых может быть построен искусственный мозг, тем более могут существенно отличаться от таковых в нашем естественном мозге. Поэтому мы и не ставим перед собой задачу детального описания физиологических, биохимических процессов в нашем естественном биологическом мозге – это прерогатива биологов. Отметим, что движение сигналов в различной форме (скажем, в химической), пробегающих по цепочкам нейронов,

может быть учтено путём подстановки вместо этих неэлектрических процессов соответствующих им электрических эквивалентов.

Рассмотрение принципов позволит понять работу мозга. И на этих принципах вполне может быть создан искусственный электронный мозг, способный к самоизменению, самоорганизации, начиная с «чистого листа», подобно мозгу младенца. Искусственный мозг, функционально эквивалентный естественному биологическому, так же, как и естественный, способен и к возникновению в нём понятий, и к развитию уже имеющихся у этого мозга понятий, и к самообучению, и к обучению с помощью учителя, и даже к исследовательской работе. То есть к отысканию новых, неизвестных до того закономерностей, к порождению новых понятий и т.д. Так что искусственный мозг сможет быть носителем полноценного интеллекта, способного к саморазвитию.

Причём все это – в режиме непрерывного обучения наряду с одновременной обычной жизнью, с параллельной непрерывной реакцией на окружающие условия! Точно так же, как это делает человеческое дитя или котёнок в условиях родительской опеки и поддержки, в благожелательной обучающей среде. Особенно важна опека в самом начале жизни, когда дитя ещё мало что знает. Детский организм постоянно живёт и учится без всяких технических перерывов. Без включений-выключений рубильника – переключателя режимов жизни «реальная жизнь или только обучение». А в существующих на сегодня моделях работы мозга эти режимы не могут работать одновременно. Они **несовместимы**, исключают друг друга, а потому переключаются внешним образом между режимами (или обучение, или функционирование).

На основе отыскиваемых принципов мы сможем не только создать ИМ в виде компьютерной модели или электронной схемы, но и лучше понять, как работает биологический естественный мозг человека. Учитывая эти знания, основываясь на представлении, что одинаковые причины порождают одинаковые следствия или, наоборот, одинаковые следствия порождены одинаковыми причинами, мы сможем найти способы улучшения характеристик и нашего мозга, начиная от методик запоминания и обучения (скажем, иностранному языку) и развития различных способностей к творчеству и заканчивая лечением различных отклонений НС (мозга) от нормы.

Что мы уже можем сказать о работе мозга? Перечислим сначала самые главные, самые существенные принципы функционирования мозга:

1. Мозг представляет собой систему, состоящую из огромного количества активных асинхронных логических элементов-нейронов, функционирующих параллельно и достаточно независимо друг от друга. Их функционирование, активность, заключается в возбуждении нейрона, когда сумма сигналов на его входе превышает некоторый пороговый уровень. При возбуждении нейрон подаёт на свой выход-аксон импульс стандартного уровня и продолжительности. Такая организация движения сигнала по мозгу позволяет сигналу продвигаться без затухания через множество активных элементов-нейронов, несмотря на то, что возбуждение нейронов происходит с затратами энергии.

2. Логические элементы-нейроны связаны между собой по входам-выходам. Межнейронные связи представляют собой следы событий, оставленные предыдущим жизненным опытом индивидуума. Впоследствии через эти связи нейроны возбуждают друг друга. И волны возбуждения последовательно проходят через различные, в том числе и через «параллельные» цепочки уже связанных между собой нейронов. То есть траектория движения возбуждения через структуры мозга и действия частей организма, управляемых возбуждёнными нейронами, определяется именно конфигурацией связей между нейронами (и состоянием активных элементов-нейронов на пути сигнала). Так что в межнейронных связях заключена актуальная информация.

3. Для того чтобы организм под управлением нервной системы, хоть простейшей, хоть развитой, мог выжить, исторически первые нейроны и связи между ними (базовые, глубокие слои этой НС – ядро) должны обеспечивать адекватную реакцию организма на основные внешние обстоятельства-раздражители. Понятно, что исторически рецепторы простейших организмов могли реагировать только на опасные для организма факторы, что было необходимо для их выживания и экспансии. Если реакция была адекватна, организм продолжал свою линию, иначе – погибал. Поэтому в основе нервной системы должна лежать реакция на возможные опасности окружающего мира, в том числе голод и дискомфорт. Условно назовем эти раздражители «боль». И реакция на «боль»

должна присутствовать в организме, безусловно, генетически, т.е. она должна быть предопределена, гарантирована происхождением организма. Эти реакции называют безусловными рефlekсами. А уже все остальные реакции организма формируются в ходе жизни, в том числе и ещё до его рождения, в утробе матери или в яйце. Реакции, не обусловленные генетически, формирующиеся под воздействием личного опыта индивидуума, являются условными рефlekсами, образовавшимися на основе базовых безусловных рефlekсов, предопределённых генетически. Можно сказать, что условные рефlekсы присоединяются, надстраиваются на фундаменте генетически обусловленного ядра нервной системы, которое реализует принцип: «**ВЫЖИТЬ** (убежать, уклониться от боли-опасности) и **РАЗМНОЖИТЬСЯ**». Любой сигнал, поступающий на вход нервной системы, вызывает какую-то реакцию нервной системы и управляемого ею организма. В частном случае эта реакция нулевая – никакого отклика. Реакция организма на входные сигналы, направленная на «поиск» положения с минимальной «болью», с минимальным действием раздражителей, по существу, и является сутью деятельности организма. Если организм попадает в «оптимальное» положение, т.е. состояние, где уровень «боли» минимален и практически не увеличивается при малых смещениях от него, то, поскольку в НС не поступают сигналы-раздражители и не продвигаются по нему, организм впадает в полусонное состояние. Эти замечания можно изобразить графически (рис. 8).

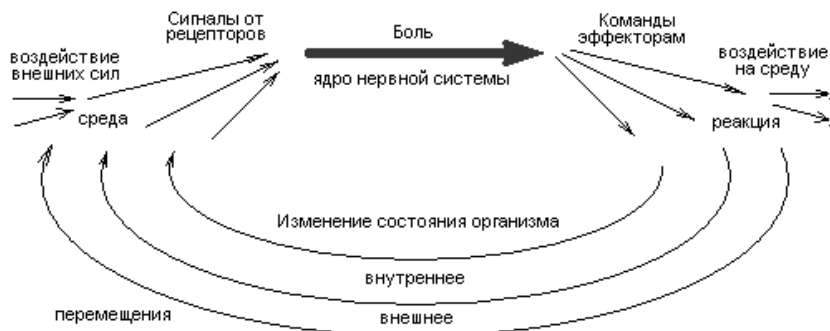


Рис. 8. Модель организма

4. Будучи возбуждёнными, нейроны продолжают оставаться в состоянии возбуждения некоторое время (все процессы в какой-то мере инертны).

5. Между возбуждёнными нейронами, находящимися в механическом контакте, могут образовываться новые постоянные парные связи типа гальванических, ослабевающие с течением времени. Связи эти могут образовываться в результате электрического пробоя или его эквивалента – механического, биохимического и т.п. Образование связи путём пробоя рассмотрено ниже, в главе «Механизмы памяти» и проиллюстрировано на рис. 9.

6. Так что волны возбуждения (или отдельные импульсы), проходящие по уже существующим цепочкам нейронов, порождают в процессе возбуждения нейронов все новые связи между возбуждёнными в данный момент нейронами, а тем самым, и между «параллельными» цепочками. Так жизненный опыт организма оставляет следы в НС. При этом количество связей между нейронами в мозге (человека) стремительно увеличивается (как мы уже отмечали, со скоростью порядка 30 тыс. связей в секунду) из-за огромного количества самих нейронов и возможных связей между ними, возникающих, в конце концов, в результате воздействия раздражителей на рецепторы.

Отметим, что основной отличительной чертой нашей модели является то, что мозг всегда действует в одном-единственном режиме – режиме жизни, режиме отклика, режиме непрерывного реагирования на внешние раздражители.

А возникающие по ходу жизни всё новые связи образуются только между нейронами, одновременно находящимися в возбуждённом состоянии в течение некоторого конечного промежутка времени.

Утверждение о том, что связи могут образовываться **только** между возбуждёнными нейронами, может быть обосновано логически, методом от противного. Действительно, если бы связи могли образовываться между невозбуждёнными нейронами или между возбуждённым нейроном, с одной стороны, и с невозбуждённым нейроном – с другой, то очень скоро все потенциально возможные связи были бы установлены, задействованы. И мозг в дальнейшем уже не мог бы запоминать (воспринимать) абсолютно ничего нового. С другой стороны, все

эти связи, образовавшиеся произвольным образом, не отражали бы реально произошедших событий. В таких связях был бы полный беспорядок и никакой информации, никакой пользы.

Возможность образования следа событий в виде связей между **возбуждёнными нейронами** впоследствии обеспечивает возможность опережающей реакции на последовательности различных обстоятельств – раздражителей, влияющих на организм и приведших в прошлом к образованию связей. То есть образование следов событий – связей между нейронами – порождает возможность упреждающей реакции на различные факторы, в том числе и на негативные, на основе «предвидения» – упреждения, опережения. Это существенно увеличивает шансы организма на выживание и даже на своё расширенное воспроизводство, вследствие чего мир постепенно заполняют более или менее разумные существа – они продолжают жить в этом мире.

Причём в подавляющем большинстве связи образуются от выхода одного возбуждённого нейрона ко входу другого нейрона, также находящегося в этот момент в возбуждённом состоянии. Связи между выходами нейронов, так же как и между их входами, как правило, не образуются (очень редко наблюдаются в природе, в лаборатории) [19, 20]. Даже если такие связи (вход-вход, выход-выход) и образуются, результаты наших рассуждений не изменяются, поскольку такие маловероятные связи будут функционировать как параллельные.

Далее мы перечислим уже чуть менее существенные принципы функционирования мозга, без учёта которых также невозможно представить себе успешное существование организма с мозгом.

7. «Запоминание» логических связей между событиями происходит путём образования электрических связей между различными соседствующими нейронами, возбуждёнными примерно в одно и то же время. А воспроизведение «логических» связей между событиями (предвидение событий) происходит путём передачи по образовавшейся ранее межнейронной связи сигнала от возбуждённого нейрона-передатчика к последующим нейронам-приёмникам.

8. Наш вариант образования связей между точками двух нейронов с разностью потенциалов, большей, чем напряжение пробоя, позволяет не только самообразоваться связи между

нейронами, которая обеспечивает запоминание-воспроизведение. Этот же вариант автоматически, без всяких дополнительных требований и предположений обеспечивает достаточную «линейность», одномерность, вернее, «невзрывообразность» распространения по НС, по мозгу сигнала, мысли. Действительно, сразу же после возбуждения-активизации первого же нейрона следующего каскада в результате появления новой, пока ещё низкоомной связи между выходом активизирующего нейрона и входом активизируемого нейрона уменьшается, «подсаживается» потенциал на выходе возбуждённого активизирующего нейрона. Поэтому этот возбуждённый, но «подсаженный» нагрузкой нейрон уже не сможет активировать другие нейроны, кроме первого возбуждённого.

9. С течением времени логические веса каждой связи между нейронами уменьшаются из-за увеличения их электрического сопротивления. Уменьшение веса связи (уменьшение электрической проводимости) обеспечивает «забывание» – отход на второй план устаревающих, перестающих быть актуальными связей. «Забывание» обеспечивает и «торможение» ранее образовавшихся связей, что позволяет организму непрерывно адаптировать своё поведение к постоянно изменяющимся обстоятельствам. Из-за существования забывания широко распространённое ныне представление о «торможении» нейронов представляется излишним и даже ошибочным – достаточно ослабления связей со временем. Старые связи становятся слабее новых, и поэтому в результате «конкуренции» за возбуждающий сигнал остаются в тени.

10. В «нежный» период жизни организма (в самом раннем возрасте – ещё до его рождения) порог возбуждения нейрона мал и находится на уровне флуктуаций входного сигнала. В это время низкий порог возбуждения нейронов позволяет образоваться между часто самовозбуждающимися нейронами связям, реализующим безусловные рефлексy. Цепочки безусловных рефлексов реализуются на изначально отдельных нейронах, которые логически, электрически поначалу не связаны между собой, но находятся в тесном механическом контакте, образующемся в процессе роста и всего организма, и мозга. Этот контакт, обеспечиваемый топологическим генетически обусловленным расположением нейронов, по существу предопределяет образование связей при

частом в раннем возрасте спонтанном самовозбуждении нейронов. Эти связи и реализуют образование безусловных рефлексов в самом раннем возрасте организма. Но связи эти не являются гарантированными, что проявляется при различных детских болезнях центральной нервной системы.

11. Когда нейроны на входе в головной мозг теряют способность к возбуждению из-за усталости, разряженности, они перестают возбуждаться и передавать сигналы от внешних раздражителей внутрь мозга. Для «уставших» входных нейронов повышается порог срабатывания, и через них уже не может пройти, усилиться и нормализоваться рядовой сигнал извне. В лишённой входных сигналов центральной нервной системе (головном мозге) быстро затухают все циркулировавшие по ней сигналы, она начинает дремать и засыпает. По ней проходит очень мало сигналов, хотя многие внутренние нейроны мозга находятся в работоспособном состоянии. Внутренние нейроны запускаются лишь редкими флуктуационными возбуждениями некоторых нейронов внутри самого мозга. Возникшая в результате такого флуктуационного возбуждения нейрона мысль некоторое время (до своего затухания) бродит по мозгу вероятными правдоподобными путями, и человек видит сон. В общем случае волны возбуждения пробегают по тем участкам, которые активизируются легче, чем другие, как правило, по участкам, близким к темам, которые нас сегодня задевают. Поэтому шахтеру снится шахта, а музыканту – оркестр. И мы видим сон, похожий на явь, или даже «вещий» сон на подспудно обдумываемую тему. По мере восстановления работоспособности входных нейронов они начинают пропускать внутрь мозга даже слабые сигналы от внешних раздражителей, и организм просыпается. Но особо сильные внешние сигналы от сильных раздражителей способны проникать внутрь мозга, преодолевая высокий входной барьер, ещё до полного восстановления работоспособности входных нейронов и приводить к пробуждению организма. Понятно, что даже во время сна различные достаточно автономные подсистемы НС продолжают действовать благодаря поступлению в них по цепям обратной связи сигналов состояния управляемых участков организма (сердцебиения, дыхания и т.п.).

Вообще-то, с нашей точки зрения, не столь важно, на каких материальных структурах реализован мозг, главное – понять логику его функционирования. Наши представления о работе мозга можно рассматривать на примере различных моделей – или биохимических, или схемотехнических (электрических), или чисто компьютерных – нас интересует суть, логика функционирования мозга. А конкретная реализация модели мозга может быть осуществлена на любом удобном для нас материальном носителе. Мозг может быть реализован естественным образом на биологической основе (как у человека или дельфина), а может быть реализован и искусственным образом. Мы можем собрать, спаять его в лаборатории. А можно реализовать мозг с помощью программы, функционирующей на мощном надёжном компьютере. Понятно, что любая модель отображает объект с какой-то степенью точности.

Легче всего создать модель на компьютере, и такая модель создана (со сравнительно малым количеством нейроподобных элементов, моделирующих функционирование отдельных биологических нейронов). Она показала работоспособность, в ней образуются условные рефлексы (происходит обучение). При изменении обстоятельств в ней образуются новые рефлексы (происходит переучивание). Но полномасштабная компьютерная модель мозга требует недоступных пока мощностей как по объёму памяти, так и по быстродействию существующих традиционных процессоров.

Схемотехническая (электронная) модель также уже создана, но пока с очень малым количеством нейроподобных элементов, что существенно облегчило её создание. На 3 нейроподобных элементах модели, созданной в рамках выполнения НИР 9006 в Национальном исследовательском Томском государственном университете, продемонстрирована способность электронной модели к обучению и переучиванию. Полномасштабная схемотехническая реализация мозга гораздо сложнее компьютерной, зато она даст огромный по сравнению с естественным человеческим мозгом выигрыш в скорости – в миллионы раз – таково возможное превосходство в быстродействии электронных схем над биологическими. Поэтому даже усеченная схемотехническая модель со сравнительно малым количеством нейронов может оказаться очень полезной при

управлении различными быстропротекающими процессами в сложных, быстро меняющихся условиях типа взрыва, падения, которые невозможно просчитать заранее.

При дальнейшем обсуждении мы будем говорить о различных моделях нейронов, или спаянных в виде электрической схемы, или реализованных в виде компьютерной модели, а также о принципах взаимодействия таких нейронов, составляющих искусственный мозг, иногда обращаясь к биологическим примерам-аналогам.

В реальных организмах протекает множество процессов, реализующих ход мыслей: и механические (движения тела и массоперенос током крови и лимфой), и биохимические, и электрические. Почему так происходит? Ресурсы организма ограничены, поэтому он вынужден быть экономным – одни и те же механизмы одновременно участвуют в различных процессах. Поэтому все и усложняется. Каждая подсистема организма в условиях жёсткого требования минимизации используемых ресурсов, вынуждена выполнять множество функций. Так, кровь и доставляет к органам продукты питания, и уносит отходы их жизнедеятельности, и отводит-подводит тепло, и защищает организм от инородных тел, и переносит в пределах организма различные стимуляторы. Организм должен переносить голод и холод, переизбыток и перегрев, отравления и обезвоживание, физические перегрузки и атаки микроорганизмов в условиях жёстких ограничений на ресурсы. Отсюда – совмещение функций и невероятное усложнение, возникающее в процессе и в результате экономии. В нашей задаче понимания принципов функционирования мозга и создания искусственного носителя интеллекта (ИНИ) нет таких жёстких ограничений. И поэтому наша задача – понять принципы функционирования естественного мозга и на базе этого понимания создать ИНИ – искусственный мозг – существенно упрощается.

Мы можем привести все разнородные процессы, протекающие в мозге, к чисто электрическим, имея в виду, что преобразование механических или химических сигналов в электрические в живом организме, как и во всей природе, происходит достаточно однозначно. Так что для моделирования функционирования мозга с точки зрения логики мы вполне можем выполнить однозначные подстановки, заменяя неэлектрические процессы их электрическими

эквивалентами. Иначе, без перехода к одинаковым переменным просто невозможно описать никакую систему и тем более систему, состоящую из огромного множества разнородных перемежающихся механических, химических и электрических элементов. Почему это необходимо? В организме протекает множество взаимно превращающихся процессов. Скажем, от страха у нас учащается сердцебиение, в кровь впрыскивается адреналин (изменяются силовые характеристики, ускоряется реакция). Или при введении в кровь алкоголя изменяются передаточные характеристики связей между нейронами. Поэтому и следует перейти к описанию всех участков функционирующей системы в одинаковых переменных. А изменение передаточных характеристик под воздействием других подсистем организма следует учитывать параметрически. Понятно, что все задачи за один раз решить нельзя. Поэтому мы и оставляем пока их решение в стороне, указывая лишь на принципы учёта воздействия различных факторов на работу мозга.

Отметим ещё раз, что настоящая работа не является попыткой описания физиологических процессов, протекающих в мозге, и их увязывания с всеобъемлющим учётом всех сторон функционирования мозга: и питания мозга, и его защиты от различных вредных факторов, и регенерации различных тканей мозга – и нейронов, и нейроглии и т.д. Она представляет собой попытку осмысления имеющихся экспериментальных сведений о мозге и уяснения основных логических принципов функционирования естественного мозга и разработки принципов, достаточных для обеспечения полноценного функционирования мозга, как существующего естественного, так и искусственного, построенного на этих принципах. При этом в естественном мозге в обеспечении функционирования мозга (в образовании логических связей, в их угасании – старении –забывании) участвуют и глиальные клетки (которых в десятки раз больше, чем нейронов), и эндокринная система (влияющая на скорости запоминания-забывания, на пороги возбуждения нейронов), и текущий состав крови (с алкоголем / без алкоголя и т.д.). Все эти составляющие функционирования НС мы не учитываем, не рассматриваем, а достаточно условно относим к функционированию только нейронов, что упрощает изображаемую картину, но при этом не искажает логики функционирования НС. В различных моделях НС (электронных, компьютерных) действие всех подсистем НС, обеспечивающих

логику функционирования, вполне может учитываться параметрически.

Предположим, что нейрон работает в чисто потенциальном, а не в импульсном режиме. То есть нейрон реагирует именно на электрические потенциалы на его входах, а не на фронты импульсов, пропускаемые электрическими ёмкостями, хотя наши биологические рецепторы реагируют на изменения в воспринимаемой нами картине мира, в основном, по дифференциальному принципу, обнаруживая именно изменения (каждый в своём фрагменте среды). Мы легко видим нечто движущееся и с трудом замечаем неподвижное. Более того, чтобы видеть неподвижные объекты, человеческий глаз постоянно совершает саккады – малые, незаметные для нас движения. Если с помощью технических ухищрений (системы линз и зеркал) компенсировать движение глаза с целью сделать изображение рассматриваемого предмета на светочувствительной глазной сетчатке неподвижным, то человек перестает видеть этот предмет [5]. Если же очень медленно передвигать объект в поле более простого зрения насекомого, то насекомое просто не видит этого предмета и никак не реагирует на него.

Кроме допущения о потенциальности сигналов, циркулирующих в нервной системе, состоящей из огромного количества нейронов, примем, что каждый нейрон представляет собой логический элемент, обладающий некоторыми электрическими характеристиками, без указания значений этих характеристик, таких как:

- индивидуальные сопротивления каждого из 10 000 входов (вес связи);
- порог срабатывания логического элемента (формирователя);
- входное сопротивление всего нейрона (формирователя);
- выходное сопротивление (обеспечивающее нужный коэффициент размножения),
- потенциал покоя (пусть и на выходе, и на входе равен 0),
- потенциал возбуждённого выхода ($U_{out} > 0$),
- потенциал возбуждённого входа ($U_{in} < 0$),
- время перехода в возбуждённое состояние,
- время активации (время пребывания нейрона в возбуждённом состоянии),
- время отдыха нейрона (восстановления работоспособности).

Работает этот логический элемент-нейрон асинхронно, совершенно независимо от других нейронов. И делает это следующим образом: сигналы, поступающие на многочисленные входы нейрона, суммируются аналоговым способом по проводному «ИЛИ». На самом же деле «суммирование» – это слишком громко сказано. Просто разветвлённые выходы нейронов предыдущих каскадов связаны с различными участками входной части нейрона (что логически и электрически эквивалентно приходу выходов нейронов предыдущих каскадов через входные участки в одну общую точку рассматриваемого нейрона). При достижении потенциала в этой точке величины порогового потенциала на входе усилителя-формирователя (нормализатора) нейрон возбуждается, и потенциал выхода нейрона скачком (за время срабатывания) изменяется от потенциала покоя до потенциала возбуждённого выхода. То есть активный логический элемент-нейрон имеет пороговый аналоговый вход, но при этом его выход работает фактически в цифровом режиме, что обеспечивает приемлемую помехоустойчивость и, главное, обеспечивает незатухающее распространение сигналов. Усиленный до стандартного уровня (нормализованный) сигнал с выхода рассматриваемого логического элемента-нейрона совместно с сигналами от других элементов поступает на входы логических элементов-нейронов следующего каскада, связанных с его выходом.

Следующие логические элементы могут или возбудиться, или не возбудиться в зависимости от величин потенциалов на всех их входах (с разными весами входов) и порогов их возбуждения, распространяя первичный входной сигнал по сложному многозвенному пути. Этот путь обуславливается совокупностью действующих в данный момент входных сигналов от разных измерителей внешних обстоятельств – рецепторов и существующими в данный момент связями, т.е. личным опытом данного индивида, отображённым в совокупности всех связей между нейронами его мозга. Так что поступающий на вход мозга сигнал благодаря усилению-нормализации на каждом очередном шаге, как правило, не затухает через 1–2 каскада. Сигнал в конце концов по многозвенному пути доходит до эффекторов (мотто-нейронов), осуществляя синтезированную на множестве многовходовых

звеньев-нейронов пути сигнала реакцию организма с его сложившимися связями на совокупность всех входных сигналов.

Так что мозг представляет собой совокупность огромного числа нейронов, цифровых на выходах, но с пороговыми, очень разветвленными входами, за счёт чего и осуществляется логическая обработка входных сигналов-раздражителей. Нейроны выдают на свои выходы нормализованные сигналы (логический «0», если нейрон не возбужден, или логическую «1» при возбуждённом нейроне). Нормализованность выходных сигналов (их «цифровой» характер) обеспечивает незатухание входного сигнала при его продвижении по цепочке связанных нейронов. Отметим, что с теоретической математической точки зрения наиболее экономичны троичные логика и представление информации. На заре компьютерной эры даже создавались ЭВМ с такой троичной логикой («Сетунь»). Но инженерная практика давно показала, что проще всего реализуется двоичная логика и двоичное представление информации. Оно же и наиболее помехоустойчиво. Надо полагать, что природа тоже «пришла к таким выводам». Причём гораздо раньше появления инженеров-электронщиков.

В двоичной логике работают и нейроны, начиная от рецепторов, которые реагируют только на раздражения одного типа (сигналы опасности, «боли») и передают сигналы о раздражении на следующие ступени реагирования на эти сигналы. Такое представление как будто не согласуется с сегодняшними представлениями о «торможении» старых рефлексов, переставших быть результативными, а также и с нашей повседневной практикой – мы испытываем не только боль, но и удовольствие. О «торможении» мы поговорим чуть позже.

Что касается боли, то мы её и ощущаем (когда ощущаем её непосредственно через рецепторы соответствующих органов чувств), и чувствуем, испытываем (душевная боль). А вот удовольствие мы, скорее, испытываем. Не непосредственно, а как-то опосредованно. Даже когда мы явно испытываем удовольствие от прикосновения к нашей руке, при этом ощущаем лёгкое раздражение от прикосновения. Но в нашей нервной системе, в мозге это прикосновение с учётом привходящих обстоятельств трансформируется в чувство отвращения, если это было прикосновение паука или мыши, и чувство удовольствия, если это

было прикосновение близкого нам человека. Если говорить об удовольствии в терминах раздражений, то определённое незначительное текущее раздражение (боль) посредством образовавшихся ранее связей приводит нашу НС к прогнозированию минимизации болезненных чувств в будущем. То есть к испытанию инициированного незначительным отрицательным ощущением – болью положительного чувства удовольствия, эквивалентного минимизации боли, или угроз боли сейчас или в будущем. К рассмотрению этого вопроса мы вернёмся несколько позже, а пока ограничимся общим замечанием: нас уже давно не удивляет и не смущает, что с помощью наглядно представляемых чёрных ноликов и единичек на фоне белого листка бумаги мы через посредство различных устройств передаём самую разную информацию – широчайший спектр ощущений и чувств. С самой разной эмоциональной окраской, используя быстродействующие электронные устройства-преобразователи. Это и звук шелеста трав, пения птиц и раскатов грома, и изображение зелёных полей, синих рек и огненно-чёрного космоса на экране.. А теперь уже и запахи и механическое воздействие различных тренажёров на наши органы чувств. И всё это – всего лишь двоичные нолики и единички (величины одного знака) в процессе их интерпретации быстродействующей электроникой.

Заряженность-разряженность нейрона, т.е. готовность к работе, программно и схемно можно моделировать изменением порога срабатывания. Причём в раннем возрасте организма (в молодые годы человека) исходные пороги срабатывания нейронов ниже, чем у взрослых людей (в том числе из-за меньшего количества задействованных связей). Поэтому и связи в молодом мозге образуются с большей легкостью. Кроме того, порог срабатывания подвержен флуктуациям, обусловленным как внешними, так и внутренними причинами (ионизирующие излучения, космические частицы, механические удары, слишком сильное раздражение – вспышка света, невыносимые запахи, острая боль, биохимические препараты). Отклонение от нормы в питании (неоднородность в питательных веществах, приходящих к телу нейрона), различные отклонения в структуре нейрона от среднего – слишком тонкая или толстая оболочка у нейрона и другие случайные факторы могут

способствовать самопроизвольному или более легкому возбуждению нейрона.

В принципе, из-за роста аксона возможно такое положение дел, что сопротивление старых связей растёт до бесконечности, т.е. проводимость, вес старой связи падают до нуля – аксон со временем покрывается всё более толстым слоем изолятора (жира – миелина) на своих более старых участках. Так что очень старые связи-воспоминания, находящиеся ближе к основанию аксона (образовавшиеся очень давно, в детстве), могут быть фактически полностью утрачены – их логический вес становится близким к нулю. Но зато кончик аксона может продолжать обрастать новыми связями, все более упорядоченными, пропущенными через фильтр уже имеющегося жизненного опыта – уже имеющихся связей. Возможно даже, что количество дендритов (10 000) отражает именно количество ещё действующих на данный момент дендритов, без учёта уже практически утраченных очень старых связей. В этом случае мозг мог бы обновляться практически бесконечно (с ограничением этой бесконечности из-за роста объёма устаревающих связей и накопления структурных дефектов).

МЕХАНИЗМЫ ПАМЯТИ

(запоминание, забывание, «торможение») 

Мы рассмотрели логику образования элемента памяти типа «если действует Фактор1, то действует и Фактор2» и извлечения пользы из этого элемента памяти. Запоминание происходит за счёт того, что между возбуждёнными логическими элементами может образоваться логическая связь, материализоваться в виде гальванической связи между выходом одного возбуждённого нейрона и входом другого возбуждённого нейрона. Нейроны после начала воздействия на них возбуждающих факторов пребывают в возбуждённом состоянии некоторое время ($T_{\text{актив}}$ = время возбуждения), так что возбуждённость соседних нейронов может пересекаться во времени даже если факторы действовали не совсем одновременно. То есть имеется возможность образования связи между соприкасающимися нейронами даже в простейшем случае, когда возбуждающие их факторы разделены во времени небольшим промежутком. А если сигналы сравнительно долго движутся по своим цепочкам, то увеличивается и промежуток времени, в течение которого может образоваться связь между нейронами, возбуждаемыми различными факторами. И когда у возможной связи между двумя элементами возбуждены обе стороны, эта связь может образоваться. Тем самым посредством образования гальванической связи произойдёт запоминание логической связи между двумя событиями, которые объединяет то, что они произошли примерно в одно и то же время, в пределах пересечения времен активации этих нейронов. Конечно, такой механизм образования связей не обеспечивает самого эффективного отображения логических связей между событиями в окружающем мире из-за возможности образования связи в одном из двух возможных направлений, как показано ниже. Возможно, интеллектуальный наблюдатель мог бы предложить и установить гораздо более эффективные связи, зато

предложенный нами механизм образует связи совершенно самостоятельно, **без какого бы то ни было внешнего вмешательства**, очень быстро и достаточно успешно!

Но как именно может самостоятельно образоваться, материализоваться логическая связь в организме между возбуждёнными нейронами? Как может такая связь образоваться в электронной схеме между нейроподобными элементами, моделирующими нейроны? Или по каким критериям следует устанавливать такую связь в компьютерной модели?

Принципиальная часть реализации ответа на этот вопрос очень проста. А вот практическая реализация упирается в высокие технологии. Хотя принципиальное решение этого вопроса позволяет легко провести компьютерное моделирование процесса образования связей между нейронами. Но как всё-таки можно это сделать не программным путём, а созданием модели «в железе»?

Сначала покажем, как может образоваться связь между двумя определёнными возбуждёнными нейронами или нейроподобными элементами (НЭ) в электронной схеме.

Каждый нейрон в спокойном (невозбуждённом) состоянии на входах (дендритах) и на выходе (аксоне) имеет потенциал, для определённости равный 0. А возбуждённый нейрон имеет потенциалы на выходе $U_{out} (>0)$ и на входе $U_{in} (<0)$ такие, что $\Delta U = U_{out} - U_{in} = |U_{out}| + |U_{in}| > U_{cf}$ (U формирования связи, напряжения пробоя). Но по отдельности $|U_{out}| < U_{cf}$ и $|U_{in}| < U_{cf}$, и при возбуждении только одного из нейронов пробоя не будет. Здесь U_{cf} есть разность потенциалов, при превышении которой происходит образование связи в результате электрического пробоя между точками с такой или большей разностью потенциалов. Пробой происходит с образованием в месте пробоя проводящего канала – долговременной электрической связи со сравнительно малым начальным электрическим сопротивлением r_{rf} (рис. 9).

Такое необычное решение с выдачей мощных сигналов противоположного знака не только на выход, но и на вход логического элемента при его возбуждении (активации) позволяет не только образоваться новой связи между точками с достаточной разностью потенциалов, но реализовать и другие функции, необходимые для успешного функционирования мозга типа сравнения характеристик путей следования сигналов в различных

точках ветвления возможных путей следования сигнала. Но об этом позже.

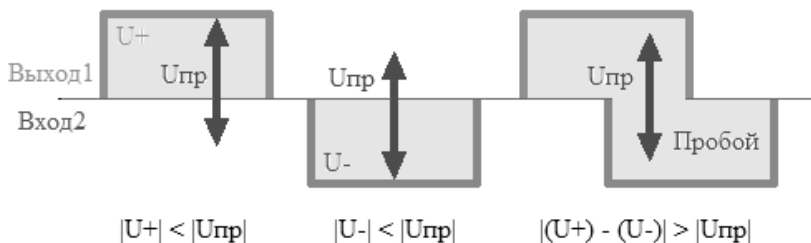


Рис. 9. Образование связи между двумя одновременно возбуждёнными нейронами

В результате между выходом одного возбуждённого нейрона и входом другого возбуждённого нейрона образуется постоянная связь на всю оставшуюся жизнь. С другими же нейронами, не возбуждёнными в данный момент, связь образоваться не может из-за того, что разности потенциалов с ними недостаточны для пробоя! Если же связь образовалась, то скорее всего сопротивление образовавшейся связи медленно увеличивается со временем $r_{cf} \rightarrow R_{cf}$. Проводимость уменьшается, связь ослабевает, событие забывается.

Так что посредством связи, образовавшейся таким вот образом между двумя возбуждёнными нейронами, у нас действительно будет образован угасающий со временем след того знаменательного факта (воспоминание о нём), что в какой-то момент времени одновременно оба нейрона находились в возбуждённом состоянии.

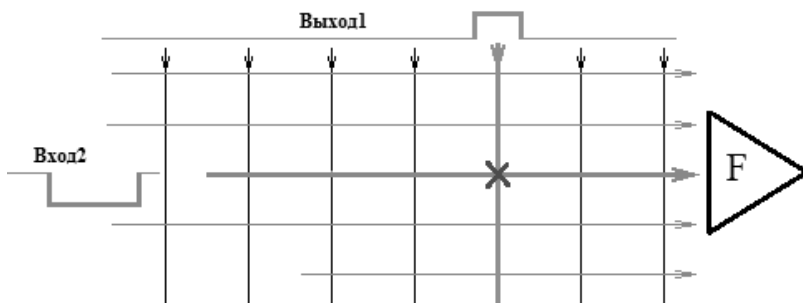


Рис. 10. Схема входов и выходов нейронов, обеспечивающая образование связей

Для того чтобы такие самообразующиеся связи могли образовываться не между заранее указанными нейронами, а между произвольными нейронами, возбуждаемыми различными факторами и находящимися в механическом контакте, нейроны с их входами и выходами могут быть расположены так, как схематически изображено на рис. 10.

Понятно, что такая схема с огромным количеством пересечений под прямым углом может быть реализована только в созданной нами электронной модели нервной системы. В природе нет такой простоты с прямыми углами, но топологическое расположение биологических нейронов с их входами и выходами эквивалентно приведённой схеме. Причём возможностей у биологических нейронов для образования различных связей даже несколько больше, чем у электронных, за счёт объёмного расположения входов-выходов биологических нейронов, которые изображены на рис. 11:

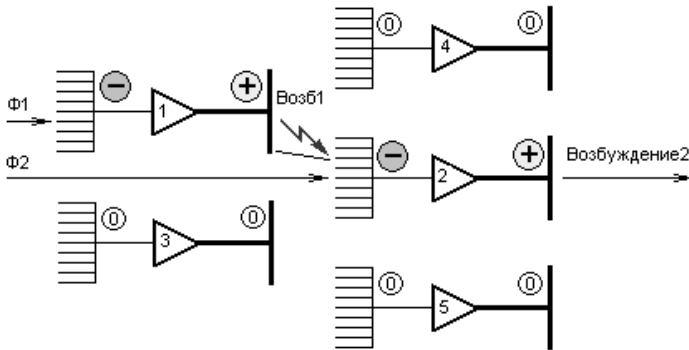


Рис. 11. Образование связей в нервной системе

И на огромном количестве (порядка $1.5 \cdot 10^{14}$) таких простейших возможных и уже образовавшихся связей между $1.5 \cdot 10^{10}$ нейронами построена наша личность, кажущаяся неисчерпаемой по богатству восприятия и накопленных знаний.

Понятно, что связь между двумя нейронами по какой-то причине может распасться – произойдёт полное забывание. Эта связь может разрушиться механически в результате разрыва. Может «умереть»

один из связанных нейронов. Если связь между нейронами осуществляется электрическим способом, то для забывания достаточно изменения электрических характеристик этой связи – уменьшения проводимости. Если связь химического типа, то для ее прекращения достаточно изменений химических характеристик. И т.д. Увеличение электрического сопротивления связи – уменьшение проводимости соответствует уменьшению веса, ослаблению связи, что приводит к более трудному вспоминанию факта, которому соответствует давняя связь.

Несколько сложнее, чем с забыванием, обстоит дело с так называемым торможением, проявляющимся в угасании старых условных рефлексов и замене их новыми рефлексами в ответ на изменения внешних обстоятельств существования организма. То есть когда возникает необходимость изменить поведение – подавить рефлексы, приведшие до изменения обстоятельств к положительным результатам, заменить их на другие, соответствующие новым обстоятельствам, т.е. переучиться. В настоящее время господствует мнение, что торможение представляет собой процесс, отличающийся от запоминания и противоположный ему. Якобы возбуждению нейрона через имеющуюся, актуальную ранее связь препятствует подача на нейронный вход другого типа «тормозящего» сигнала, в результате чего возбуждение нейрона затрудняется, и рефлекс подавляется, причём этот процесс как будто происходит на уровне отдельного логического элемента-нейрона.

Предполагается, а иногда даже утверждается без достаточных оснований, что каждый нейрон имеет два типа входов: возбуждающие данный нейрон и препятствующие возбуждению данного нейрона, т.е. «тормозящие», подавляющие возбуждение. Можно сказать, что в случае такого утверждения употребляется троичная логика, труднее реализуемая и гораздо менее устойчивая, чем активно используемая нами в математике и электронной технике двоичная.

Отметим, что на самом деле подавление старых рефлексов экспериментально всегда наблюдалось только на уровне поведения организма в целом, а не на уровне подавления возбуждения отдельного нейрона путём подачи сигнала на «тормозящие» входы нейрона. Такого подавления-торможения на уровне отдельного нейрона и его «тормозящего» входа никто не наблюдал. Поэтому

утверждение о наличии «тормозящих» входов у каждого отдельного нейрона не имеет под собой экспериментального основания.

По нашим представлениям, для объяснения результирующего «торможения» существовавшего до того рефлекса достаточно существования всего лишь уменьшения со временем веса образовавшейся ранее связи, ответственной за «старый» рефлекс. Просто вновь образованные и поначалу более весомые и более значимые связи срабатывают быстрее, чем ослабевающие со временем старые, давно образованные, опережая старые на принципах конкуренции. Нейрон с новыми, более сильными входными связями возбуждается быстрее (быстрее нарастает сумма входных сигналов на входе порогового элемента), и, будучи возбуждённым, препятствует возбуждению нейрона со старыми связями, реализующего старый рефлекс. Таким образом, при возникновении нового рефлекса существовавший до того старый рефлекс вытесняется (но не подавляется) образованным параллельно ему новым рефлексом, более результативным в данный момент для организма за счёт более весомой новой связи. По этой же причине и вспоминаем мы недавние события, произошедшие минутой, час, день назад, гораздо легче, чем те, что произошли год назад. Новые связи более сильны, чем старые, поскольку новые имеют БОльшую проводимость, БОльший логический вес!

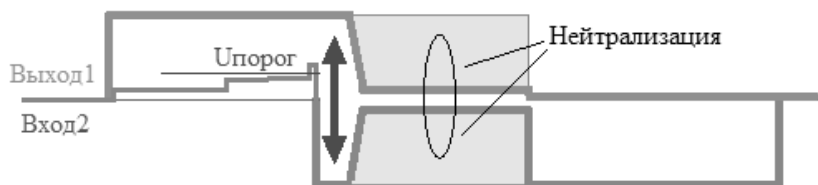


Рис. 12. Взаимная нейтрализация потенциалов входов и выходов возбуждённых нейронов

Поэтому впоследствии, при прочих равных условиях, первыми успевают сработать именно самые новые связи, не затрагивая и не изменяя старые, которые со временем ослабевают сами по себе. Нейроны со старыми входными связями (старые рефлексy), несколько запоздав, уже не смогут возбудиться, поскольку

потенциалы выходов нейронов предыдущих каскадов успеют несколько «подсесть» под влиянием уменьшения потенциалов нагружающих входов быстрее возбужденных нейронов с новыми, более сильными связями. Это происходит из-за частичной нейтрализации возбуждающего потенциала потенциалом противоположного знака, появляющимся на входе нейрона, возбужденного потенциалом с выхода предыдущего нейрона, как это изображено на рис. 12. Видим, что уменьшение со временем весов связей между нейронами обеспечивает не только непосредственно забывание, но совместно с частичной нейтрализацией возбуждающего потенциала обеспечивает также способность организма к переучиванию, изменению поведения организма в изменяющихся условиях.

Такое положение дел может иметь место, когда на возможность активации следующего нейрона влияет вес связи – электрическая проводимость данной связи (входа). Если проводимость связи со временем уменьшается (увеличивается ее сопротивление), причём без влияния каких бы то ни было внешних воздействий, то возбуждение нейрона через эту связь становится все более затруднительным. По этой причине вспоминать старое всегда труднее, чем новое. Для воспоминания старого события одной старой связи может уже не хватать для превышения порога возбуждения нейрона, поэтому требуются дополнительные возбуждающие связи – ассоциации. То же самое касается и рефлексов. Это преимущество новых связей исследователями ошибочно воспринимается, как принудительное изменение уже существующих старых связей, прямое их подавление. Хотя на самом деле прямое подавление совсем необязательно. «Результатирующее подавление» старых связей может быть обеспечено большей силой новых связей на фоне постепенного ослабления старых, что и приводит к более быстрому возбуждению недавно образовавшихся рефлекторных цепочек, а не ослабевших старых. Происходит это потому, что суммарный потенциал на входе нейрона из-за инерционности всех процессов устанавливается не мгновенно, а в зависимости от уровня сигналов на входах-связях и веса-проводимости этих связей. Успевшие возбудиться нейроны потенциалом противоположного знака на своём входе частично нейтрализуют потенциал на выходе предыдущего нейрона, который

связан и с входом старой, и с входом новой рефлекторной цепочки. Так что нейрон в начале новой рефлекторной цепочки, быстро возбуждись, препятствует возбуждению нейрона в начале старой рефлекторной цепочки. Поэтому старая цепочка уже не сможет возбудиться, поскольку этому возбуждению будет препятствовать новый рефлекс, цепочка которого возбудится раньше других. И произойдёт это в результате конкуренции (кто первый?) за возбуждающий сигнал нейронов со связями, имеющими разный вес. Таким вот образом за счёт забывания, уменьшения со временем веса связей и выигрыша конкурентной борьбы нейронов за возбуждающий сигнал автоматически обеспечивается возможность «переучивания» – изменения поведения организма при изменении обстоятельств. Диапазон переучивания – от изменения простейших реакций, скажем, при движении организма по неоднородному пути до смены мировоззрения человека.

В существующем на сегодня освещении эффекта «торможения» старых рефлексов, наблюдаемого со всей НС (глобально), локальный механизм «торможения» на уровне отдельного нейрона пытаются объяснить двумя механизмами:

1. В нейроне есть тормозящие входы, функционально отличные от других. Подача на такой вход сигнала той же полярности, что и на другие входы, приводит к препятствованию возбуждения нейрона, на тормозящий вход которого был подан сигнал обычного знака (положительного).

2. Имеются нейроны, которые при возбуждении выдают на свой выход отрицательный потенциал, т.е. противоположного знака по сравнению с потенциалами на выходах других возбуждённых нейронов. Этот отрицательный потенциал препятствует возбуждению нейрона, на вход которого он поступил.

В обоих упомянутых случаях нет логики, в соответствии с которой функционирует нейрон, генерирующий «тормозящие» сигналы. В отдельно взятом нейроне не видно механизма образования таких входов и выходов, не видно логики образования «тормозящих» связей между соответствующими входами и выходами различных нейронов. Образование таких специальных «тормозящих» входов и тем более образование нейронов с обратным потенциалом на выходе при возбуждении невозможно локально, необходим какой-то глобальный управляющий механизм, надстроенный над множеством

отдельных нейронов и управляющий их функционированием. Откуда же возьмётся этот «управляющий» нейрон? По какому критерию будут образованы «тормозящие» связи, управляющие нейронами? Тогда как в нашем подходе не нужны никакие специальные ухищрения для объяснения образования механизмов препятствования возбуждению других нейронов со стороны первого же возбуждённого нейрона. Локальный механизм образования всех совершенно однотипных связей между выходами и входами прост, один на все случаи жизни. Этот же механизм обеспечивает не только образование связей, но и выбор оптимального пути распространения сигнала, наилучшим образом соответствующего конфигурации входных связей нейронов и пришедших на эти связи других возбуждающих сигналов. Природа же из-за ограниченности ресурсов не терпит лишних механизмов, поскольку они требуют затрат ограниченных ресурсов.

Так что предлагаемый нами для всех случаев жизни один и тот же локальный механизм образования связей и выбора оптимального пути следования сигналов предпочтительнее глобальных механизмов, неведомым образом управляющих нейронами по всему мозгу и даже в конечностях. А что управляет глобальным механизмом?

Видим, что забывание не является чисто отрицательной чертой, оно позволяет изменять поведение, что необходимо, поскольку обстоятельства непрерывно изменяются.

Отметим попутно, что компенсация возбуждающего потенциала на выходе предыдущего каскада потенциалами входов возбуждённых нейронов в результате конкуренции по скорости возбуждения возможных различных путей не только позволяет отодвигать на задний план старые рефлексy, но и решает задачу выбора пути следования сигнала по разветвлённым структурам мозга. Эта задача выбора решается буквально на каждом шаге – участке движения сигналов с обеспечением единственности центральной мысли, которая может быть изменена под влиянием новых раздражителей. Можно сказать, что задача выбора оптимального пути решается на входе каждого нейрона, и сигналы, первоначальными истоками которых являются рецепторы, в результате конкуренции возможных путей следования сигналов (по скорости возбуждения) распространяются по путям, которые наиболее соответствуют конфигурации сигналов в данный момент (в

конечном итоге, конфигурации входных сигналов) и структуре межнейронных связей, сложившихся к данному моменту.

В связи с подавлением, «торможением» старых рефлексов можно упомянуть шуточное высказывание, что невозможно не думать о белой обезьяне. На самом деле мы, конечно, легко уходим от темы белой обезьяны, но не через попытки прямо подавить эту мысль, а просто подумав о чем-то другом: о зеленых лесах, синих морях, белых снегах или, в крайнем случае, о рыжей обезьяне. На этом примере ясно видно, что для ухода от старых представлений, мыслей, рефлексов достаточно того, чтобы появились новые представления, мысли, рефлексы, которые сильнее старых из-за угасания старых связей. И поэтому нет необходимости в прямом подавлении, «торможении» старых рефлексов; достаточно конкуренции. А природа вынуждена быть экономной. Поэтому явление, которое сегодня трактуется как отдельный процесс – торможение, противоположный процессу первоначального возникновения рефлексов, скорее всего, представляет собой процесс возникновения конкурирующих новых и потому более сильных связей-рефлексов на фоне ослабления старых связей, уменьшения их значимости.

В подтверждение того, что «торможение» является результатом конкуренции старых и новых путей распространения нервных импульсов, когда наряду с новым путём реакции на изменившиеся обстоятельства остаётся в дееспособном состоянии и старый путь (старый рефлекс), можно привести такой пример. Пусть в организме при появлении нового незначительного раздражителя образовался новый рефлекс, который вытеснил при своём возникновении старый. Если организму предъявлять ситуацию без этого незначительного нового раздражения, то организм будет действовать иногда по старой схеме, иногда по новой. Причём при наличии этого слабого раздражителя организм всегда будет действовать по новой схеме. Но то, что организм будет действовать и по старой схеме, однозначно говорит о том, что старый рефлекс сохранился в неизменном виде. Просто наличие даже слабого нового раздражителя быстрее активизирует новый путь следования сигналов. А уже активизация нового пути препятствует активизации старого пути. Пример из жизни: если раньше дверь открывалась «от себя», а после её замены стала открываться «к себе», то человек,

если он не будет сосредоточен на открывании двери (будет «выключено» воздействие слабого нового раздражителя), довольно часто будет пытаться открыть дверь по-старому, «от себя», что свидетельствует о сохранении в НС старого рефлекса.

Как может быть реализовано уменьшение со временем проводимости связей между нейронами технически? Похоже, что природа решила эту задачу следующим образом: аксон (выход логического элемента-нейрона) по ходу жизни удлинняется, растёт, обрастая при своём продвижении вперёд все новыми контактами-связями с короткими дендритами нейронов, соседствующих с точкой роста аксона. Понятно, что аксон растет в некоем выделенном направлении. Это направление может быть выделено разными полями и процессами: направлением предыдущего роста аксона, силой тяжести, биохимическими градиентами, потоками питательных и отработанных веществ, электрической активностью, или их комбинациями, или какими-то другими воздействиями. Скорее всего, направление роста аксона определяется, в основном, электрической активностью старых и вновь образовавшихся связей между нейронами.

Новым связям легче образоваться именно на кончике аксона – там оболочка аксона тоньше, напряжение пробоя меньше и проводимость образовавшихся связей выше. Тогда как ранее образовавшиеся связи со временем приобретают все большее электрическое сопротивление – зарастают жирком-миелином по мере удаления от сегодняшнего дня – от кончика аксона, вернее, по мере продвижения кончика аксона, на связях с которым и фиксируются текущие события, от событий минувших дней к событиям сегодняшним и далее. Поэтому для вспоминания сегодняшнего события, т.е. для активации нейрона через свежие связи, достаточно подачи возбуждающих сигналов на 1–2 таких только что образовавшихся входных связи, имеющих пока максимальный вес. Для вспоминания относительно недавнего события через слегка устаревшие связи с уменьшившимся весом необходима активизация уже 3–5 входов (ассоциаций). Тогда как для вспоминания очень давнего события – возбуждения соответствующего нейрона – может понадобиться активизация 100 или даже больше сильно ослабевших входных связей по той причине, что сумма вкладов сигналов стандартного уровня

(стандартных на выходах нейронов предыдущих каскадов), поступающих на вход логического элемента через множество ослабевающих со временем связей с уже большим сопротивлением, должна быть достаточна для превышения порога возбуждения. Но даже сотни сигналов стандартного уровня, поступающих через входные связи на суммирующий вход логического элемента с его определённым входным сопротивлением, может не хватить для превышения порога возбуждения из-за того, что эти стандартные сигналы приходят через старые входные связи с очень высоким сопротивлением (малым весом).

Возможно, рост аксона и изменение веса связей с другими нейронами стимулируется именно при его возбуждении (активации). Рост аксона в ходе жизни позволяет также довольно легко отсортировать впоследствии во времени запомненные впечатления.

В подтверждение сказанного можно сослаться на следующее: из лабораторных наблюдений над мозгом животных известно, что в процессе жизнедеятельности нервные волокна «прорастают» сквозь отростки других нейронов. Причём у молодых животных это прорастание происходит более активно, чем у старых [6]. А значит, легче образуются новые связи, лучше работает память. Это уменьшение проводимости связи со временем по мере роста нейрона легко промоделировать на компьютере, уменьшая со временем логический вес каждой связи вплоть до нуля. А если поставить перед собой задачу реализации искусственного мозга на уровне работающих электрических схем, то как реализовать это увеличение сопротивлений схмотехнически, «в железе»?

СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПАЛЬНАЯ МОЗГА

Имея конечной целью создание действующей схемотехнической модели мозга, изобразим теперь сказанное выше в виде принципиальной электрической схемы мозга.

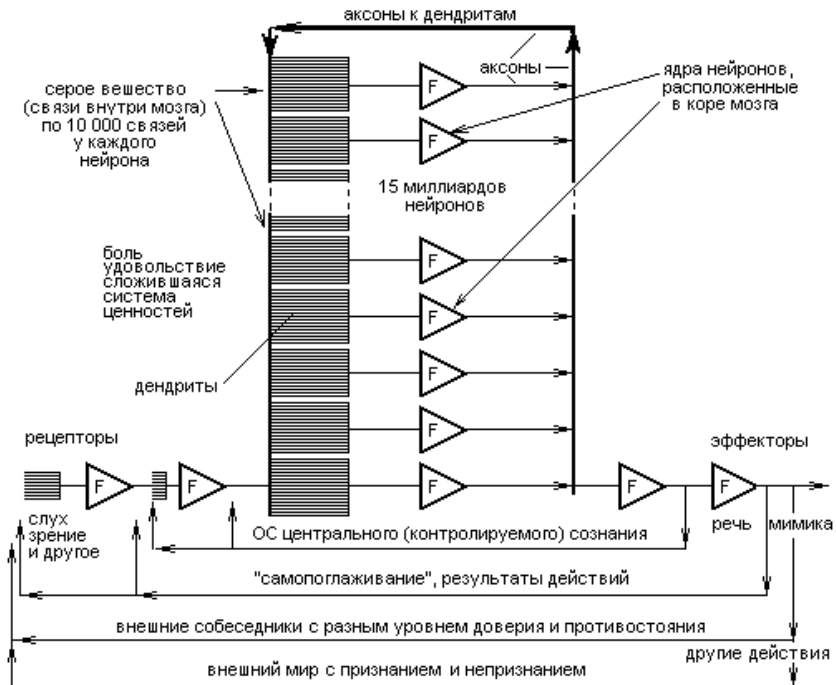


Рис. 13. Схема электрическая принципиальная мозга

На рис. 13 обычная электрическая схема: слева – входы-дендриты, посередине – центральные тела нейронов (формирователи F), справа – выходы-аксоны.

Активные логические элементы мозга – нейроны, способные продвигать усиленный ими сигнал дальше, связаны между собой по входам-выходам (с выходов предыдущих каскадов нейронов сигналы по межнейронным связям приходят на входы последующих). Посредством этих связей нейроны возбуждают друг друга, начиная от входных элементов-рецепторов, через множество нейронов головного мозга, реализующих огромное количество сложившихся логических функций (типа за А следует В, за С и Д следует Е и т.д.), и заканчивая нейронами-эффекторами на выходе, которые управляют различными действиями организма, начиная от неконтролируемых центральным сознанием сокращений сердечной мышцы, движений желудка, выработкой различных секретов в железах (гормонов) и заканчивая выверенными движениями рук, ног, языка и голосовых связок. Можно сказать, что нейроны-эффекторы запускают процессы обратных связей различной глубины, начиная от самоощущения и кончая признанием или непризнанием деяний личности со стороны среды, общества и даже ожидаемой реакцией со стороны далёких потомков. Эти связи, сопряжённые с теми или иными движениями, опосредованы внешними по отношению к мозгу и даже ко всему организму процессами и изображены в нижней части рисунка.

Более быстрые (в темпе возбуждения отдельных нейронов) и более многочисленные обратные связи реализованы в коммутационной части мозга – сером веществе и изображены в левой части рисунка (на входах формирователей F).

Все богатство личности, мозга – в связях, расположенных в центральных зонах мозга. Этим связей так много ($\sim 10^{14}$) и они так быстро меняются (как количество, так и параметры связей), что не представляется возможным не только их поштучное изображение, но и определение их наличия (есть/нет) и тем более измерение их параметров, например сопротивлений, даже в принципе, а не только на практике. Поэтому фиксация и абсолютно точное повторение конкретного мозга невозможны. Принципы действия механизмов самообразования связей между логическими элементами живого действующего мозга мы уже обговорили. Для реализации этой

схемы «в железе», в виде функционирующего электронного устройства необходимо создать электронные логические элементы и механизм самообразования связей между ними, удовлетворяющие описанным требованиям. Приведём возможный вариант реализации модели нейрона «в железе» в виде электронной схемы.

Отметим, что уровни потенциалов входов и выходов возбуждённых нейронов могут быть не такими, как мы принимали ранее ($U_{in} < 0$, $U_{out} > 0$). Особенно, если человек, стоя на изолирующем коврике, держится за электрод источника высокого напряжения. Они могут соотноситься не с нулем, а со средней точкой (потенциалом окрестностей нейрона), потенциал которой относительно «земли» может составлять тысячи вольт или быть, скажем, порядка сотни милливольт. Но чтобы не путаться, чтобы картина была симметричной, примем потенциал средней точки за 0.

Возбуждённый нейрон имеет на выходе потенциалы $U_{out} > 0$ и на входе $U_{in} < 0$, такие, что $\Delta U = U_{out} - U_{in} = |U_{out}| + |U_{in}| > U_{cf}$. Но по отдельности потенциалы входа и выхода (относительно потенциала окружающей их среды) недостаточны для пробоя ($|U_{out}| < U_{cf}$) и ($|U_{in}| < U_{cf}$). Здесь U_{cf} – напряжение пробоя.

Приведём теперь возможную принципиальную электрическую схему, моделирующую функции нейрона (рис. 14).

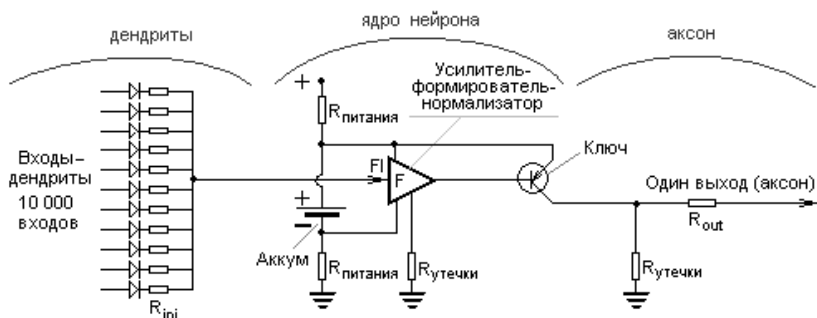


Рис. 14. Упрощённая схема электрическая нейроноподобного элемента

На рис. 14: R_{ini} – сопротивление нейронного входа № i (одного из 10 000 дендритов). Со временем каждое входное сопротивление

увеличивается (уменьшается вес связи). Поэтому с каждым днём все труднее вспомнить то, что произошло давно.

Аккумулятор – отдельный источник-накопитель электрического питания – собственный автономный аккумулятор у каждого логического элемента – нейрона, медленно заряжающийся через $R_{питания}$ и быстро разряжающийся во время возбуждения нейрона.

$R_{питания}$ – сопротивление, через которое заряжается аккумулятор (в естественном мозге аккумулятор заряжается биохимически, питательными веществами). $R_{питания}$ определяет скорость восстановления работоспособности нейрона.

F – усилитель-формирователь. Формирует на выходе стандартный (нормализованный) сигнал – «0» при невозбуждённом нейроне и «1» при превышении порогового напряжения $U_{порог}$ на входе элемента (в точке FI).

$R_{утечки}$ – сопротивление утечки с ядра формирователя и с выхода (аксона).

R_{out} – выходное сопротивление логического элемента.

Ключ – силовой выходной каскад, выдающий мощный сигнал на выход-аксон (в принятых на сегодня в биологии терминах – открывающий ионный канал).

На рис. 14 изображена схема базового логического элемента искусственного мозга – искусственного нейрона (электронного нейроподобного элемента), который мог бы выполнять основные функции естественного нейрона. Его операционная часть F усиливает сигнал, поступающий на его вход (FI) и являющийся результатом формирования-суммирования сигналов, поступающих на множество входов-связей с другими нейронами (дендритов). Если потенциал на входе (FI) усилителя-формирователя превышает некоторый пороговый уровень, нейрон возбуждается. Пороговый уровень усилителя-формирователя зависит от параметров и текущего состояния нейрона (его заряженности) и всего организма, т.е. от физико-химической обстановки в мозге. При возбуждении нейрона операционная часть формирует на выходе нейрона нормализованную «единицу». Если же порог не достигнут, на выходе формирователя – «0». Такая организация работы нейрона (с «цифровым» выходом) обеспечивает достаточно большую устойчивость и помехозащищенность работы мозга, а также незатухание входного сигнала при продвижении сигнала по всему

длинному извилистому многозвенному пути следования этого сигнала, нормализуемого на каждом очередном этапе-каскаде.

Передаточная характеристика такого логического устройства представлена на рис. 15.

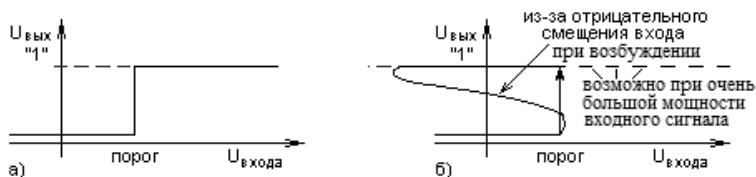


Рис. 15. Передаточная характеристика логического элемента – нейрона

Масштабы $U_{\text{входа}}$ и $U_{\text{вых}}$ на рис 15 различны.

Пока потенциал на входе логического элемента-формирователя не достигнет определённого порогового уровня $U_{\text{порог}}$, нейрон остается в невозбуждённом состоянии, а на его выходе – логический «0». При достижении или превышении потенциала входного сигнала порогового уровня формирователь быстро, за время переднего фронта импульса, возбуждается, и на его выходе устанавливается логическая «1». Причём за счёт быстрого отрицательного смещения потенциала «земли» формирователя из-за малого тока утечки через $R_{\text{утечки}}$ при открытии мощного выходного каскада пороговый потенциал на входе, измеренный относительно близких окрестностей, становится гораздо ниже требуемого для начала возбуждения нейрона (см. рис. 15, б). Но процесс возбуждения рассматриваемого нейрона уже запущен, и на входе только что возбуждённого нейрона некоторое время будет отрицательный потенциал (при возбуждённом нейроне). Так что благодаря появлению отрицательного потенциала на входе возбуждённого нейрона может образоваться новая связь между отрицательным входом рассматриваемого и положительным выходом другого возбуждённого нейрона.

Проиллюстрируем теперь зависимость выходного сигнала нейрона от сигнала на входе формирователя логического элемента (рис. 16).

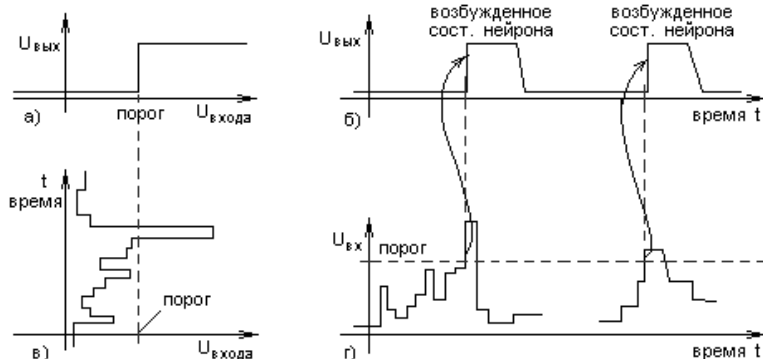


Рис. 16. Возбуждение нейрона при превышении входного порога

На рис. 16, *а* изображена собственно передаточная характеристика формирователя логического элемента, т.е. зависимость выходного сигнала от уровня сигнала на входе формирователя (с игнорированием появления отрицательного потенциала на входе возбуждённого нейрона с целью уменьшения деталей).

На рис. 16, *в* изображено возможное изменение во времени сигнала на входе *FI* формирователя *F* в виде, удобном для иллюстрации зависимости выхода от входа.

На рис. 16, *г* изображено то же самое, что и на рис. 16, *в*, но с привычным горизонтальным расположением оси времени.

На рис. 16, *б* изображено состояние выхода формирователя во времени, зависящее от уровня сигнала на входе формирователя рис. 16, *г*.

Усилитель-формирователь *F* формирует не только уровень, но и длительность выходного сигнала. Так что даже при очень коротком входном сигнале, возбудившем нейрон, выходной сигнал будет длиться не менее некоторого стандартного промежутка, что обеспечивает распространение сигнала без затухания.

Точно так же и при слишком большой длительности входного сигнала (выше порога) формирователь генерирует выходной сигнал стандартной длительности. Вместе с тем формирователь подаёт на свой вход сигнал такой же длительности, но противоположной

полярности, блокируя сам себя на некоторое время. По окончании отрицательного потенциала на входе входной сигнал снова начинает превышать порог. Поэтому формирователь снова возбуждается, и т.д. Так что в результате подачи на вход формирователя длительного мощного сигнала он автоматически генерирует серию импульсов, пока не закончится входной сигнал. В этом и состоит загадочный (пока) механизм «кодирования» мощных сигналов от раздражителей сериями импульсов.

Сигнал на входе формирователя совсем не цифровой (см. рис. 16, з). Ступенчатость входного сигнала формирователя обусловлена тем, что асинхронные входные цифровые сигналы (0 или 1 на каждом входе) от выходов нейронов предыдущего уровня суммируются приблизительно на 10 000 разных по величине и достаточно больших сопротивлений входов-дендритов данного нейрона. Изредка сумма сигналов на входе FI формирователя F нейрона превышает порог, и тогда нейрон возбуждается со всеми вытекающими последствиями. Но большую часть времени сумма вкладов от разных входов остаётся ниже порогового уровня. И нейрон остается неактивированным и почти всегда готовым к возбуждению, за исключением некоторого промежутка времени, следующего непосредственно за возбуждением нейрона, пока потенциал входа нейрона остаётся отрицательным из-за предыдущего возбуждения, до тех пор, пока потенциал входа нейрона не вернётся к 0 благодаря утечкам, а также в том случае, когда у нейрона наступает истощение (питательных веществ).

Сигнал с единственного выхода нейрона (аксона) поступает на большое количество входов нейронов (дендритов) следующего каскада – на один выход приходится до 10 000 входов-дендритов, и при таком разветвлении соответственно уменьшается уровень сигнала; конечно, не в 10 000 раз, поскольку сопротивление отдельного входа намного больше сопротивления электронного ключа на выходе возбуждённого нейрона. Очередной возбуждённый нейрон за счёт запасённой в нём раньше энергии из поступавших питательных веществ снова выдаёт нормализованный сигнал, можно сказать, стандартной амплитуды и длительности. Поэтому, как правило, и не происходит затухания входного сигнала. Но иногда входной сигнал все-таки гаснет на каком-то очередном звене нейронной цепи, поскольку ни у одного из нейронов

следующего каскада не был превышен порог возбуждения. И соответственно ни один из нейронов не был возбуждён и не передал сигнал дальше. В среднем коэффициент размножения сигнала (отношение количества выходных сигналов к количеству входных) в мозге при нормальных условиях колеблется около 1, но никак не больше. Иначе бы мозг самовозбуждался. Поэтому без новых внешних раздражителей сигналы, циркулировавшие до того в мозге, довольно быстро затухают и мозг засыпает. Точно так же, как при отсутствии входных сигналов, мозг постоянно засыпал бы даже при наличии входных сигналов, если бы коэффициент размножения сигналов в мозге был существенно меньше 1.

Отметим, что в зонах приёма информации в мозг коэффициент размножения может быть существенно меньше 1 благодаря особенностям параметров нейронной среды в зоне восприятия-обработки входных сигналов, как это имеет место, например, при восприятии изображений. Миллионы исходных сигналов от миллионов рецепторов (палочек и колбочек в глазу) по пути в центральные зоны мозга предварительно фильтруются, объединяются, проходя по ранее образовавшимся следам – межнейронным связям, оставшимся от предварительного обучения системы зрения у молодых организмов. В результате чего количество прошедших в мозг сигналов после предварительной обработки-сжатия информации, поступающей от наблюдаемых объектов, существенно уменьшается. Сжатие информации осуществляется путём её сравнения со следами прошлых событий-изображений, путём проекции этой информации на имеющиеся в мозге следы. Так что после сжатия зрительная информация представляется в виде, удобном для обработки в мозге, – для осуществления адекватной реакции организма на наблюдаемую визуальную картину. Обучение системы зрения молодого организма происходит путём рассматривания некоего объекта с одновременным восприятием этого объекта другими органами чувств или сопоставления нескольких изображений. НС автоматически, без какого бы то ни было желания субъекта, сопоставляет образы объектов, поступающих от разных органов чувств. И в мозге остаются следы – различные аспекты этих сопоставлений, используемые впоследствии. Особенно активно это

сопоставление зрительных образов происходит с осязательными образами объектов в период первоначального обучения.

Из этого замечания видна необходимость существования у организмов по возможности большего количества различных органов чувств. Для организмов, обитающих в различных средах, различаются и наборы чувств, обеспечивающие поведение организмов, адекватное среде их обитания. Более информативные для данной среды чувства имеют и большую относительную важность для организма.

В связи с вопросом распространения сигналов по нервной системе и мозгу следует отметить, что в пределах мозга или НС нервные импульсы, за редким исключением, не возникают. Они порождаются только внешними по отношению к НС раздражителями, действующими на рецепторы, которые возникли в организмах данной популяции для обеспечения её существования через выживание организмов посредством восприятия опасностей. Тогда как даже грубое механическое воздействие на ткани мозга не порождает нервных импульсов по причине отсутствия в мозге болевых рецепторов (ноцицепторов) – в мозге в них нет необходимости [16]. Вместе с тем электрическое стимулирование тканей мозга или тканей нервной системы порождает нервные импульсы. Так что структуры мозга не порождают сигналы, а только передают, преобразуют их, иногда с затуханием на каких-то этапах. Сигналы от других органов организма (боли, голода, недостатка кислорода) являются внешними для НС и мозга. И всё-таки нервные импульсы изредка порождаются в пределах НС и мозга в результате различных флуктуаций, и эти флуктуации не вредят функционированию НС. Даже приводят иногда к положительным результатам – образованию каналов проведения нервных импульсов от периферической нервной системы к мозгу и обратно, цепей безусловных рефлексов в дородовой период, к разрастанию нервных структур в отдохнувших участках мозга.

Впрочем, иногда коэффициент размножения превышает 1. Это ненормальное состояние. Человек входит в раж, у него истерическое самовозбуждение. Но это состояние достаточно быстро проходит в результате истощения запасов питательных веществ в нейронах, возбуждаемых поводом истерики. И истерическое состояние проходит само по себе. Истерическое состояние может быть

преодолено переключением мозга на другие мысли или путём влияния на химию организма – некоторые вещества (успокоительные капли, таблетки) увеличивают порог возбуждения нейронов и тем самым уменьшают коэффициент размножения сигналов и прекращают самовозбуждение.

Отметим, что коэффициент размножения должен быть близким к 1. Если он будет больше 1, будет наблюдаться самовозбуждение НС, истерика, что в естественных условиях будет приводить к неадекватному поведению организма и его гибели (во всяком случае к гораздо меньшей вероятности выживания). Если коэффициент размножения будет существенно меньше 1, сигналы будут затухать, организм будет засыпать вместо того, чтобы действительно реагировать на раздражитель, что также не будет способствовать выживанию организма.

Поэтому в результате эволюции параметры входных и выходных цепей нейронов мозга самосогласовываются так, что коэффициент размножения сигналов в мозге ≈ 1 . На величину размножения влияют и другие факторы, важнейшим из которых является усталость нейрона, проявляющаяся в увеличении порога его возбуждения.

Каждый нейрон имеет свой автономный источник питания – некий аккумулятор, заряжающийся химически, путём усвоения питательных веществ, поступающих к нейрону в составе крови, питающей мозг. При возбуждении нейрона в момент превышения порога возбуждения нейрона он выдаёт на выход-аксон достаточно мощный сигнал, поступающий на большое количество входов (до 10 000) с разными весами-проводимостями (сопротивлениями). При этом автономный аккумулятор нейрона во время его возбуждения разряжается. Нейрон теряет на некоторое время способность реагировать на входные сигналы вплоть до полной или хотя бы частичной зарядки своего автономного аккумулятора. Вероятно, именно для восстановления работоспособности множества «разряженных» нейронов и необходим организму сон.

Нейроны мозга достаточно хорошо изолированы своими оболочками и «не подключены к шинам» внешнего источника электродвижущей силы (к шине питающего потенциала и к «земле»). Каждый из них имеет только автономный внутренний химический источник. Поэтому электрический потенциал мозга при

усреднении по всему объёму участка мозга будет в точности равен нулю (независимо от малых утечек).

На принципиальной схеме нейрона (см. рис. 14) изображено, что у нейрона нет низкоомной «опоры» на схемную «землю». Нейрон в электрическом смысле как бы подвешен на высокоомных сопротивлениях утечки: его миелиновая оболочка – хороший изолятор. Поэтому при открытии мощного низкоомного ключа, подающего на выход нейрона «+» от аккумулятора, вход этого нейрона получит изрядное отрицательное смещение относительно потенциала на своём выходе и средней «земли» всего мозга при неизменном среднем потенциале (около 0) по всему объёму мозга. Это так, поскольку выход находится в омической связи с большим количеством входов нейронов следующего уровня, т.е. он как бы «опирается» на «землю» через сравнительно малое сопротивление большого количества входов нейронов следующего каскада. Так что потенциал на входах рассматриваемого нейрона резко упадет. При этом возникнут условия пробоя между имеющим высокий потенциал выходом одного из нейронов предыдущего каскада, совместно возбуждивших рассматриваемый нейрон, и входом рассматриваемого возбуждённого нейрона, имеющим к этому времени очень низкий потенциал. Вход получает низкий потенциал из-за того, что при открытии выходного ключа нейрона выход нейрона (связанный через малое сопротивление с «+» аккумулятора) как бы опирается на множество входов следующего каскада. В итоге потенциал **входа смещается к «-» от «+» на выходе** на разность потенциалов, выдаваемых автономным аккумулятором. Возникают условия для электрического пробоя изолирующего слоя между (близкими) соседствующими точками, имеющими достаточную разность потенциалов на противоположных поверхностях разделяющей их плёнки. В результате пробоя образуется след события – новая связь с постепенно уменьшающейся проводимостью, в которой и отобразится факт одновременного возбуждения пары нейронов. При этом, особенно из-за образования новой сравнительно низкоомной связи «отрицательного» входа с «положительным» выходом предыдущего каскада, потенциал выхода предыдущего каскада будет оставаться высоким лишь очень короткое время – до момента пробоя между этим выходом и входом возбуждённого нейрона (до возбуждения нейрона и пробоя). По этой

же причине потенциал входа рассматриваемого каскада опустится вниз лишь на очень короткое время. Поэтому при рассмотрении наблюдаемой в лаборатории диаграммы потенциалов некоторых точек нейронов (мест контакта с измерительным электродом) мы замечаем только пики начал нервных импульсов. Тогда как продолжительные потенциальные сигналы нейронов остаются вне поля нашего зрения. По существу при изучении электрической активности нейронов наблюдаются скачки потенциала, соответствующие во времени фронтам достаточно длительных импульсов тока. Возможно, именно поэтому господствует мнение, что сигналы, распространяющиеся при работе нервной системы, имеют исключительно импульсный характер. Однако если бы мы могли измерять не потенциалы, а непосредственно токи в аксонах, то видели бы длительные, почти прямоугольные импульсы тока.

При достижении сигнала на входе формирователя уровня потенциала порога возбуждения (положительного) нейрон возбуждается, его выход (аксон) становится положительным. Потенциалы входов этого нейрона сразу же становятся отрицательными за счёт электрического смещения при открытии мощного выходного ключа с «опорой» на входы нейронов следующего каскада. Величина этого смещения может достигать разности потенциалов, выдаваемой аккумулятором U_a . Эта разность потенциалов, возникающая при открытии мощного ключа, создает условия для образования связи в результате электрического пробоя между каким-то выходом (находящимся под положительным потенциалом) и входом (имеющим отрицательный потенциал). По этой же причине (одинаковой полярности потенциалов на всех входах и противоположной на выходах всех возбуждённых нейронов) исключается возникновение связи в результате пробоя между двумя аксонами с положительными потенциалами или между двумя дендритами с отрицательными потенциалами.

Мы рассмотрели простейший вариант организации биологического нейрона в виде электрической схемы, который легко мог бы образоваться естественным путём, в которой мы заменили возможные биологические электрохимические механизмы на чисто электрические. Такая эквивалентная замена-подстановка электрохимических участков чисто электрическими позволяет более просто представить и реализовать модель нейрона в виде

электронной схемы «нейроподобного элемента» (НЭ). Эквивалентность позволяет производить взаимно однозначные подстановки при прямых и обратных преобразованиях как в математических выражениях, так и в различных моделях – схемах.

В принципе возможны и другие варианты организации работы нейроподобного элемента с теми же функциями выдачи мощного сигнала определённого знака на входе и противоположного знака на выходе нейрона при его возбуждении, достаточного для влияния на 10 000 входов, но уже с низкоомной опорой на «землю». Такую схему легче реализовать на практике (уже с опорой формируемых потенциалов на «землю»). Но тогда для обеспечения отрицательного смещения потенциала входов возбуждённого нейрона понадобится второй аккумулятор (для смещения входа) и более сложный механизм параллельного открывания выходного и входного ключей (рис. 19).

Для лучшего понимания взаимодействия нейронов рассмотрим рис. 17. Здесь изображены диаграммы изменения потенциалов на входах и выходах цепочки связанных между собой нейронов при их возбуждении через связи различного веса (разной проводимости) в разных обстоятельствах.

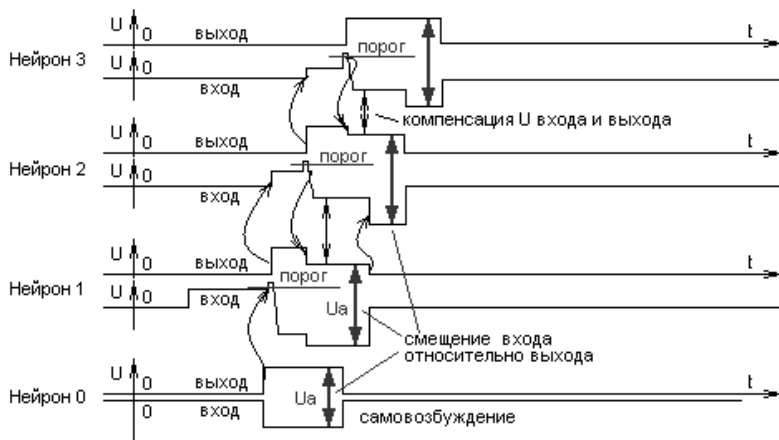


Рис. 17. Взаимовлияние потенциалов входов и выходов нейронов при их возбуждении

На рис. 17 изображены потенциалы входов и выходов четырёх нейронов (Нейроны 0, 1, 2, 3), связанных между собой и с другими нейронами, не указанными на рисунке. Пусть на вход Нейрона 1 (Н1) поступает некоторый потенциал, почти равный пороговому напряжению, но чуть-чуть недостаточный для превышения порога его возбуждения. В это время Н0 самовозбуждается, и добавленный им потенциал позволяет превысить порог возбуждения Н1. Н1 возбуждается, выдавая положительный потенциал на свой выход. В это же время за счёт открытия мощного выходного ключа (с включением опоры выхода Н1 на входы последующих каскадов) вход этого нейрона Н1 смещается относительно выхода Н1 на U аккумулятора, становится отрицательным. Положительный потенциал с выхода Н1 приходит на вход Н2, но этого потенциала недостаточно для превышения порога Н2, так что Н2 пока не возбуждается. Через некоторое время на другой вход Н2 поступает ещё один сигнал от другого источника. Порог Н2 превышает, Н2 возбуждается. При этом вход Н2 становится отрицательным и слегка компенсирует положительный потенциал на выходе Н1 («подсаживает» выход Н1), и т.д. На этом рисунке для упрощения картины не изображены образования связей.

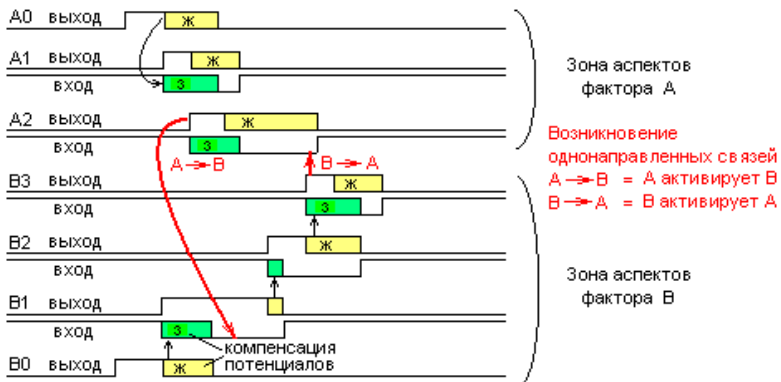


Рис. 18. Образование связей между входами и выходами возбуждённых нейронов

На рис. 18 изображено прохождение по уже существующим нейронным цепочкам сигналов, инициируемых Факторами А и В. А0 возбуждает А1, А1 возбуждает А2, В0 возбуждает В1 и т.д. Затененные желтым (вверх) и зеленым прямоугольниками (вниз) изображают отрезки потенциалов (во времени) соответственно на выходах и входах связанных нейронов, взаимно компенсирующие друг друга. На нейронах, последовательно, а иногда и параллельно возбуждаемых проходящими сигналами А и В, ранее уже материализованы какие-то характеристики – аспекты Факторов А и В. Но при очередном прохождении сигнала могут возникнуть какие-то новые обстоятельства (новая конфигурация возбуждающих окружающих нейронов), объединяющие эти факторы. И тогда может возникнуть новая связь (аспект), объединяющая эти два фактора, фиксирующая некое объединяющее их отношение на материальных структурах.

Понятно, что для образования связи между двумя нейронами имеют значение только локальные обстоятельства, только состояние возбуждения этих двух нейронов, потенциалы на их входах и выходах, их пространственная близость, и ничто другое. А на состояние нейронов (на их внутреннее состояние и потенциалы на их входах и выходах) могут влиять только уровни сигналов на их входе и нагрузка на выходе. Но косвенно в образовании этой новой связи участвует всё ближайшее (по связям и по месту расположения) окружение этих двух нейронов, материализующих некие аспекты Факторов А и В. Изобразим на рисунке возможный вариант образования связей между нейронами, на которых материализованы (отображены) некоторые аспекты Факторов А и В ($A \rightarrow B$ и $B \rightarrow A$). На рисунке влияние окружающих нейронов изображено не явно. Оно проявляется в моментах времени возбуждения нейронов. При произвольном расположении входов и выходов нейронов в принципе возможно замыкание выходов некоторых нейронов на собственные входы, что не нарушит совсем работоспособность совокупности нейронов, но несколько замедлит распространение сигнала, а иногда будет приводить и к его затуханию. Чтобы сигнал не затухал и распространялся быстрее, надо, чтобы собственные входы и выходы каждого нейрона были разделены пространственно. У биологических нейронов это обеспечивается длинным выходом-аксоном и короткими входами-дендритами. А в длинных нервных

путях (скажем, от пальцев ног к мозгу и в обратном направлении) направление связей задано уже историей их возникновения.

Из рис. 18 видно также, что между длинными цепочками нейронов в развитых нервных системах (между цепочками аспектов разных факторов) могут образовываться связи как в одном направлении, так и в другом. То есть как исходная активация Фактора А может вызвать активацию цепочки аспектов Фактора В, так и наоборот, активация одного из аспектов Фактора В может вызвать активацию цепочки аспектов Фактора А.

Кроме того, в нашей модели образования связи между двумя отдельными нейронами С и D, возбуждаемыми в порядке С, потом D, а не между цепочками, может образоваться как связь $C \rightarrow D$ (С активирует D), так и $D \rightarrow C$ (D активирует С). Из-за этой «излишней» возможности функционирование нервной системы будет менее эффективным, зато более простым и универсальным. Если в природе связи между нейронами образуются в соответствии с выдвигаемым нами принципом, то это можно было бы обнаружить в следующем эксперименте, при котором наблюдается образование связей во время образования условного рефлекса.

Пусть в экспериментальной клетке пол устроен так, чтобы можно было наносить удар током по одной определённой лапке (скажем, левой передней) находящейся в клетке крысы. Для этого пол клетки может состоять из множества точечных электродов, на каждый из них электрический потенциал может подаваться отдельно. В первой фазе эксперимента нужно подавать серию импульсов так, чтобы электрический удар приходился все время только на левую переднюю лапку. Серию импульсов нужно сопровождать резким звуковым сигналом сразу же после начала серии импульсов с малой временной задержкой (скажем, на 0,05–0,1 с). При этом нужно добиться, чтобы животное поднимало левую переднюю лапку и не опиралось на неё, обезопасив себя от последующих ударов по левой лапке после первого полученного. То есть добиться образования устойчивой связи между восприятием удара и резким звуком.

В соответствии с выдвигаемым нами принципом у животного, кроме всех остальных связей между нейронами, образуется и связь начала серии токовых ударов со звуковым сигналом, который всегда звучал **ПОСЛЕ** удара током. После этого можно перейти к

завершающей стадии эксперимента, которая может быть повторена лишь 1–2 раза. А именно: подать звуковой сигнал без удара током. В соответствии с нашим принципом образовавшаяся в обратном направлении логическая связь заставит животное по звуковому сигналу, который всегда следовал **ПОСЛЕ** удара, отдернуть, поднять левую переднюю лапку. Этот или подобный по идее эксперимент мог бы стать весомым для подтверждения предлагаемого принципа образования связи между двумя нейронами. Желательно было бы провести эксперимент подобного рода на простейших животных, у которых отсутствуют длинные нейронные цепочки.

Образование разнонаправленных связей мы можем обнаружить и в собственной памяти. Чтобы вспомнить какое-то событие, мы вспоминаем цепочку событий. Иногда вспоминаем в последовательности «от прошлого к будущему»: что случилось после какого-то события номер 0, что было после первого вспомненного события, и т.д. А иногда наоборот, «от будущего к прошлому»: что было до исходного события 0 из вспоминаемой цепочки, что было перед вспомненным минус первым событием, и т.д. Но лучше всё-таки вспоминается по первому варианту («от прошлого к будущему»). Скорее всего, потому, что цепочки связей между событиями длинные, цепочка от предыдущего события не успела угаснуть, поэтому связи от прошлого к будущему, от выходов нейронов, возбуждённых более ранними событиями, к входам нейронов, возбуждённых более поздними событиями, образуются с большей вероятностью, чем связи от будущего к прошлому.

Ещё лучше этот эксперимент по наблюдению образования связи между нейронами провести непосредственно на нейронах простейших животных, которые имеют простейшие и вместе с тем гигантские нейроны (по меркам мира нейронов). Для эксперимента следует вживить микроэлектроды в дендриты и аксоны ещё не связанных между собой двух нейронов, между которыми предполагается получить логическую связь в результате возбуждения этих нейронов. После этого провести соответствующие процедуры возбуждения нейронов и измерения их реакции. При непосредственном воздействии на нейроны и измерении их реакции

будет практически исключено влияние той или иной достаточно субъективной трактовки результатов эксперимента.

Приведём и другой, несколько более сложный вариант схемы формирования сигнала в нейроне с двумя каскадами, каждый с низкоомной опорой на «землю» (рис. 19).

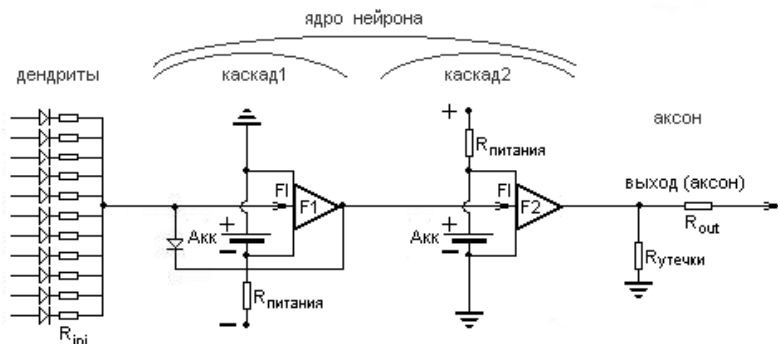


Рис. 19. Схема электрическая принципиальная 2-каскадного нейрона

Такая схема несколько сложнее логически и богаче в функциональном отношении и позволяет нейронным структурам более качественно выполнять функцию «предвидения». Кроме того, эту схему легче реализовать на практике, в том числе обойтись без долго заряжающихся конденсаторов.

Каскад 1 на этом рисунке представляет собой входную «пороговую» часть ядра нейрона. При превышении порога он возбуждается, выдавая сигнал стандартной (нормализованной) длительности отрицательной полярности на второй каскад этого же нейрона, обеспечивая незатухающее распространение сигнала по цепочкам нейронов. Кроме того, отрицательный потенциал с выхода первого каскада поступает на внутренний вход нейрона (общую точку, объединяющую все внешние входы на входе формирователя первого каскада), понижая тем самым уровень потенциала на всех внешних входах нейрона. Так что, несмотря на возможную очень большую или очень малую длительность сигнала на внешнем входе Нейрона1, на выходе второго каскада этого нейрона будет сгенерирован сигнал стандартной длительности положительной

полярности, а на его внутреннем входе – сигнал стандартной длительности отрицательной полярности. Если по окончании сформированного нейроном сигнала сигнал на его внешнем входе будет продолжать превышать порог, то по окончании компенсирующего действия возбуждения первого каскада нейрона (отрицательного потенциала) на внутреннем входе каскада 1 и на выходе нейрона сформируется ещё один сигнал стандартной длительности. И т.д. То есть один длительный (мощный) сигнал на входе нейрона может сформировать целую серию сигналов стандартной длительности на выходе этого нейрона, что и наблюдается в экспериментах с биологическими нейронами при сильных раздражениях.

Проиллюстрируем это на диаграмме (рис. 20).

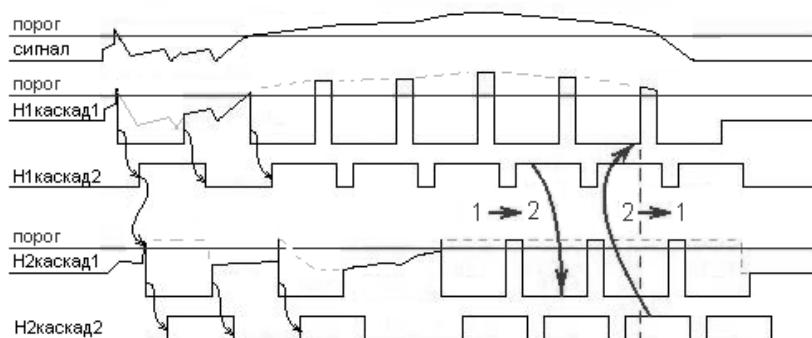


Рис. 20. Формирование серий и образование связей между 2-каскадными нейронами

Здесь показан случай, когда на вход Нейрона1 приходит какой-то внешний сигнал, а на вход Нейрона2 приходит какой-то другой внешний сигнал и сигнал с выхода Нейрона1. На диаграмме также изображено образование связи между выходом Нейрона1 и входом Нейрона2 (1 → 2), а также связи между выходом Нейрона2 и входом Нейрона1 (2 → 1).

На этой диаграмме Н1каскад1 (на входе Нейрона1), Н1каскад2 (на выходе Нейрона1) относятся к Нейрону1. Н2каскад1 (на входе Нейрона2) и Н2каскад2 (на выходе Нейрона2) относятся к Нейрону2. Н1каскад1 – потенциал на входе Нейрона1, он же

является потенциалом выхода Каскада1 Нейрона1, поскольку имеется обратная связь с выхода Каскада1 на вход Нейрона1 через диод. Н1каскад2 обратной связи не имеет, он просто инверсно повторяет с некоторой задержкой отрицательную часть потенциала Н1каскад1.

Конечно, формирование серий возможно и в однокаскадной схеме (см. рис. 14). Но в двухкаскадной схеме это реализуется эффективнее. Кроме того, наличие двух каскадов в одном нейроне за счёт некоторой задержки формирования сигнала на формирователе второго каскада даёт возможность некоторого запаздывания во времени сигнала на выходе второго каскада (на выходе нейрона) по сравнению с сигналом на входе первого каскада (на входе нейрона). А это запаздывание существенно увеличивает вероятность образования однонаправленной связи $1 \rightarrow 2$ между нейронами по сравнению с вероятностью образования связи $2 \rightarrow 1$. Это увеличение вероятности фиксации связи в «правильном» направлении во времени существенно увеличивает эффективность «предвидения» нейронной структурой порядка следования событий.

В обоих рассмотренных случаях организации электрической принципиальной схемы (как на рис. 14 и 19) наиболее интересным является существенное воздействие (искажение) на входной сигнал, чего все инженеры и исследователи категорически избегают. Действительно, по нашим представлениям, при возбуждении нейрона он автоматически (особенно в первом случае) выдаёт низкий потенциал на свой вход. Такая организация не только обеспечивает возможность самообразования связи, но и позволяет решить ещё массу задач распространения сигналов по оптимальному пути и оптимальным способом. Кроме того, при таком подходе формирование положительного потенциала на выходе и отрицательного потенциала на входе нейрона обеспечивается простейшим механизмом подключения внутреннего аккумулятора нейрона при выведении его «из равновесия», как только потенциал на его входе превышает некоторый порог. Так что природе для «создания» нейрона не пришлось сильно изощряться. Получается что «конструкция» нейрона практически не отличается от «конструкции» клеток, генерирующих или чувствующих электричество в организмах многих животных.

На примере приведённых электрических принципиальных схем нейрона видим, что операционные части логических элементов-нейронов довольно просто реализовать практически в виде электронной схемы (причём возможны варианты). Хотя несомненны технические трудности создания гигантских схем, приближающихся по количеству логических элементов к человеческому мозгу, в котором имеется 15 млрд логических элементов-формирователей. Гораздо более сложным представляется создание коммутационной части таких логических элементов – по 10 000 возможных входных связей у каждого из этих 15 млрд активных элементов-формирователей-усилителей. Причём эти входы должны иметь возможность образовать гальваническую связь с десятками тысяч выходов других элементов. И, кроме того, образовавшиеся связи должны со временем определённым образом менять свои характеристики, в частности, уменьшать проводимость, чтобы обеспечить забывание, необходимое для изменения поведения организма в условиях постоянно изменяющихся обстоятельств.

Представленные принципиальные электрические схемы мозга в целом и его отдельного логического элемента – нейрона позволяют также объяснить наблюдаемые диаграммы изменения электрических потенциалов участков мозга в различных состояниях, когда мозг возбуждён, активен, спокоен, в состоянии дрёмы и глубокого сна.

Конечно, мозг и составляющие его нейроны не являются чисто электротехническими объектами, функционирование которых носит чисто электрический характер. Работа мозга определяется также различными электрохимическими реакциями. Различные продукты деятельности эндокринной системы (адреналин, серотонин, морфины, эндорфины) и привнесённые извне в организм вещества, например наркотики и алкоголь, также оказывают влияние на функционирование мозга, изменяя передаточные характеристики связей между нейронами, пороги чувствительности и т.д. Но все эти неэлектрические воздействия могут быть учтены посредством подстановок, заменой их на электрические эквиваленты. С точки зрения схемотехники все эти сложные воздействия просто изменяют характеристики элементов электрической схемы. По существующим представлениям в процессе функционирования мозга задействованы, в основном, электрические и биохимические явления. Можно

сказать, перемежающиеся. То есть на каких-то участках формирования мысли электрические сигналы вызывают некие биохимические изменения. На каких-то других участках пути мысли, наоборот, биохимические превращения вызывают некие соответствующие электрические явления. По нашему мнению, эти сочетания различных способов передачи информации в мозге сложились эволюционно в результате оптимизации в условиях жёсткого ограничения на доступные для организма ресурсы.

Так что в конечном итоге переходы от биохимических сигналов к электрическим (и наоборот) можно заменить некими эквивалентными электрическими превращениями и таким образом от сложной смешанной электрохимической схемы формирования мысли можно перейти к чисто электрической схеме. Эта схема будет изоморфна исходной электрохимической (т.е. взаимно однозначной, функционально идентичной), но выглядеть будет гораздо проще и понятнее. Именно поэтому мы в нашем исследовании можем абстрагироваться от биохимической структуры нейронов и рассматривать только электрические характеристики, которые могут подвергаться изменению за счёт наличия различных биохимических вставок в схеме формирования мысли. Механизмы зависимостей при переходах от химических явлений к электрическим и наоборот мы оставляем за рамками настоящей работы, упоминая о них, но не рассматривая их.

Рассмотрим электроэнцефалограммы (диаграммы электрических импульсов) человеческого мозга в различных состояниях, когда он возбуждён (бета-ритм), активен (альфа-ритм), спокоен (тэта-ритм), в состоянии дрёмы и глубокого сна (дельта-ритм) [7].

Отметим, что, вопреки принятому сегодня термину «ритмы мозга», импульсы, наблюдаемые в электроэнцефалограммах, не являются ритмическими (периодическими). Они существенно асинхронны, инициируются произвольными сигналами извне. Будучи инициированным не синхронно, сигнал может достаточно долго перемещаться по мозгу, продолжая оставаться не синхронизированным с другими сигналами.

В соответствии с нашими представлениями в возбуждённый мозг поступает очень много порождаемых внешними раздражителями несинхронизированных (асинхронных) сигналов, которые могут достаточно долго перемещаться по мозгу до тех пор,

пока не выйдут из мозга на какой-то исполнительный механизм организма или пока не угаснут на очередном этапе. Поэтому в бодрствующем мозге с большой частотой возбуждается большое количество нейронов (помним об образовании порядка 30 000 новых связей в секунду!), которые и дают большое количество асинхронных всплесков, которые взаимно гасятся при усреднении по сравнительно большой эффективной площади измерительного электрода. Поэтому мы и наблюдаем в возбуждённом мозге частое малоамплитудное дрожание усреднённого потенциала участка мозга около среднего.

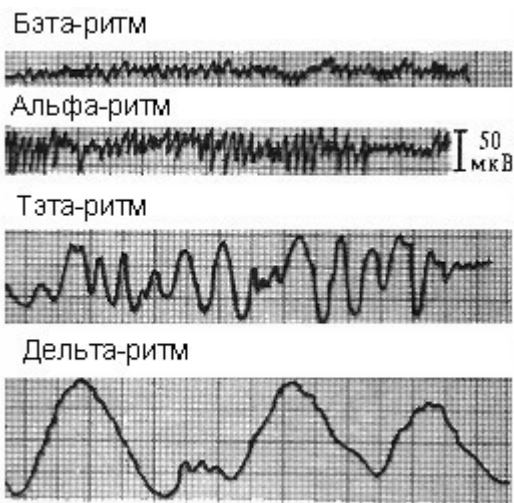


Рис. 21. Ритмы мозга

Если же мозг просто активен, то частота возбуждения нейронов несколько меньше. Поэтому соответственно и частота пиков возбуждений отдельных нейронов несколько меньше, а амплитуда больше, поскольку всплески возбуждений отдельных нейронов происходят в среднем на больших геометрических расстояниях друг от друга, чем для возбуждённого мозга, и уравниваются в пределах размеров электрода менее точно.

В мозге, пребывающем в глубоком сне, блокировано поступление внешних сигналов (вернее, прохождение входных

сигналов затруднено, не поддерживается). Поэтому нейроны мозга (кроме задействованных в цепях автоматической поддержки жизнедеятельности – дыхания, сердцебиения...) возбуждаются лишь изредка, спонтанно – самовозбуждаются. После самовозбуждения какого-то нейрона сигнал распространяется некоторое время по линейной, почти одномерной цепочке (с малым количеством ответвлений), и мы видим сон до затухания сигнала на каком-то очередном звене цепочки. Так что в каждый момент времени сна возбуждено лишь очень малое количество нейронов, и количество деталей в сновидениях сравнительно мало. Поэтому и мало количество пиков в диаграммах спящего мозга (мала частота возбуждений нейронов). И потенциал участка мозга усредняется не так хорошо, как для возбуждённого мозга, когда взаимная компенсация потенциалов почти полная. Поэтому потенциал участка спящего мозга и отклоняется от среднего менее часто, но зато с гораздо большей некомпенсированной амплитудой, чем в активном мозге.

То есть наша модель каких бы то ни было дополнительных предположений легко объясняет наблюдаемые диаграммы электрических потенциалов мозга в различных состояниях.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МОЗГА НА КОМПЬЮТЕРЕ

Возможно ли моделирование работы человеческого мозга на компьютере в соответствии с приведёнными представлениями о принципах функционирования мозга? Принципиальных препятствий как будто нет. Но хватит ли вычислительных ресурсов существующих сегодня компьютеров для полномасштабного моделирования работы человеческого мозга в реальном времени?

Сегодня ответ на этот вопрос почти однозначный – нет! Прокомментируем это утверждение. Информационная ёмкость мозга порядка $5 \cdot 10^{14}$ байт. Так что нашему моделирующему компьютеру понадобится как минимум память такой ёмкости. Мозг представляет собой 15 млрд асинхронных логических элементов, каждый из которых имеет быстродействие порядка 10–100 переключений в секунду. Возможность переключения определяется сигналами на входах нейрона. Входов у каждого нейрона до 10 000. Причём входы эти скорее аналоговые (мы пока условно приняли разрешение аналоговых сигналов в $2^{12} = 4096$ уровней, т.е. 12 бит). Так что для определения того, возбуждётся нейрон в какой-то момент времени или нет, нужно провести суммирование сигналов на всех его входах с учётом их весов – электрических проводимостей (сопротивлений) и сравнить полученную сумму с пороговым значением уровня возбуждения для данного нейрона в данный момент. Порог этот может меняться с течением времени. Он определяется тем, насколько «отдохнул», разрядился / зарядился данный нейрон, текущей физиологической (химической) обстановкой на данном участке мозга. Так что нам в процессе моделирования в реальном времени функционирования мозга человека придётся не менее 10 раз в секунду просматривать и суммировать все $1.5 \cdot 10^{14}$ связей ($1.5 \cdot 10^{14} = 15 \cdot 10^9$ нейронов \cdot 10 000 входов / нейрон) для определения состояния возбуждённости каждого из множества нейронов на следующем шаге. На самом же

деле нужно раз в 10 больше просмотров, чтобы решать задачи сравнения и конкуренции.

Для каждой связи нужно иметь не менее 3.5 байт (28 бит), а именно:

а) 16 бит – адрес нейрона (не в пределах всего мозга, а в пределах окрестностей рассматриваемого нейрона), возбуждающий выход которого связан с данным входом;

б) 12 бит – вес, проводимость данной связи, представляемый 12 битами логического веса связи. Вес является функцией времени существования входа-связи. Вес уменьшается со временем.

При этом нужно учитывать топологию (расположение) возможных связей каждого нейрона. То есть надо учитывать, с какими нейронами может соединиться на данном отрезке времени рассматриваемый нейрон при своём возбуждении.

Даже если мы сможем на одном процессоре полномасштабно моделировать работу 1000 нейронов со скоростью порядка 100 000 000 арифметических операций в секунду (сложений, умножений, а иногда и делений), то для моделирования в реальном времени всего мозга человека понадобится **15 000 000** таких процессоров. А 100 000 000 получается из $1\,000 \text{ нейронов} \cdot 10\,000 \text{ вкладов-входов/нейрон} \cdot 10 \text{ просмотров / секунду}$.

Пока что такая задача при решении её «в лоб» непосильна даже для самых могучих на сегодня компьютеров. Но для подтверждения адекватности нашей модели совсем не обязательно проводить полномасштабное моделирование развитой человеческой личности, базирующейся на $5 \cdot 10^{14}$ байт ($1.5 \cdot 10^{10}$ нейронов $\cdot 10^4$ связей / нейрон $\cdot 3.5$ байт / связь). Для доказательства правильности нашего подхода достаточно было бы промоделировать поведение и выживание (в зависимости от способностей к адаптации к изменяющимся условиям существования) нескольких разновидностей «организмов», имеющих в своём составе по 20–100 нейронов с 10–20 входными рецепторами каждый и 5–10 выходными нейронами-манипуляторами на выходе. Эти разновидности компьютерных «организмов» имеют изначально установленные связи, реализующие адекватные реакции организма на действующие на их рецепторы раздражители (безусловные рефлексы), а сверх того связи могут быть такими:

а) у одной разновидности компьютерной модели организма новые связи между нейронами не могут образовываться (кроме установленных изначально);

б) у другой разновидности новые связи образуются случайным образом;

в) у третьей разновидности могут образовываться новые постоянные связи между двумя возбужденными нейронами;

г) у четвертой разновидности могут образовываться связи между двумя возбужденными нейронами с угасающей со временем проводимостью (весом) каждой связи. Причём со временем проводимость, логический вес связей уменьшается так сильно (увеличивается сопротивление), что связь можно считать полностью утраченной. И вместо вышедшей связи может образоваться новая. Так, чтобы у нейрона в каждый момент было не более 20 связей.

Можно «поместить» модели этих 4 разновидностей мелких компьютерных «организмов» в условия с одинаковыми полями питания и взаимосвязанных опасностей с градациями результатов воздействия на них опасностей (от легких «травм» до «гибели») и понаблюдать, как эти «организмы» будут выживать, сколько из них дойдет до точки размножения, и посмотреть на результаты отбора-выживания этих компьютерных «организмов». Учитывая сравнительно малые масштабы вычислений, обусловленные примитивностью «организмов», их моделирование вполне можно провести даже на персональном компьютере. Понятно, что наиболее предпочтительны шансы на выживание у 3-й и 4-й групп. А при изменчивости условий наибольшие шансы будут у 4-й группы, способной к переучиванию. Но будет гораздо более доказательно, если ожидаемый результат даст не наша уверенность в правильности модели – нашего представления о работе мозга, а беспристрастный статистический компьютерный эксперимент. И тем самым будет показана полезность для выживания организма даже простейшей нервной системы с очень просто организованной памятью. Хотя выше, в разделе «Мозг – орган предвидения», мы уже показали с помощью калькулятора полезность нервной системы даже всего лишь из двух-трех нейронов для выживания простейшего организма.

Чтобы полномасштабно промоделировать становление человеческой личности, нужно «воспитать» эту личность в ходе её развития, начиная практически от зачатия организма и хотя бы до

года. При этом приятно было бы увидеть, что компьютерное «дитя» с умом на искусственном носителе разума (каковым является программно-аппаратный или электронный моделирующий комплекс) научилось узнавать своих создателей и говорить слово «МАМА» без какого бы то ни было силового вмешательства в свою «психику» со стороны, устанавливающего внешним образом, «вручную», какие-то правила или связи в его мозге. То есть чтобы у искусственного «ребёнка» все происходило так, как это и происходит у естественных детей – без грубого вмешательства в его мозг, с воздействием только на рецепторы организма. А ещё лучше воспитать, обучить это «дитя» до самого «совершеннолетия». Но для такой длительной «воспитательной» работы необходима могучая в вычислительном плане сверхнадёжная техника, могущая работать без «летальных» сбоев долгие годы.

Понятно, что при этом нужно решить множество задач и даже проблем:

1. Обеспечить формирование и ввод входных сигналов, отражающих влияние окружающего мира на искусственный «организм» с «органами чувств», подобными человеческим.

2. Образовать исходные сети, проводящие эти сигналы, реализующие безусловные рефлексy. Подготовить, «вырастить» нейроны, пока ещё без связей, но с потенциальными связями, из которых впоследствии образуются сети.

3. Обеспечить запоминание информации – образование связей (уже выполнено). Воспроизведение информации (выполнено вместе с запоминанием).

4. Обеспечить передачу обработанного сигнала к эффекторам, осуществляя результативную действенную реакцию ИМ на внешние обстоятельства.

5. Обеспечить образование цепей положительных и отрицательных обратных связей (ОС) различной глубины и веса путём воспитания-обучения, начиная от «безусловных» рефлексов, через условные и далее к осознанному поведению.

6. Обеспечить «самочувствие» носителя искусственного мозга. Где его боль, ощущения, цели? За что бороться? Чего бояться, опасаться?

7. Как для электронных организмов эмулировать тягу, стремление к размножению, необходимую для продолжения существования популяции биологических организмов? Или заменить эту тягу бессмертием? Или возложить функцию тиражирования носителей ИМ на людей? Если человек будет встроен в цепь воспроизводства электронных организмов, то вопрос гарантии для человека от уничтожения со стороны носителя ИМ автоматически разрешается – человек становится необходимым звеном воспроизведения ИМ! То есть человечество будет выступать даже не в роли акушерки, а в роли матери для ИМ, вступая с ним в симбиоз.

8. По ходу дела нужно обеспечивать «рост» аксонов и дендритов, отслеживая траектории их роста с тем, чтобы определять возможность возникновения связей между различными нейронами. Понятно, например, что в человеческом мозге произвольный нейрон не может связываться напрямую с любым другим нейроном, что ясно видно на примере головных полушарий. Не может нейрон из одного полушария связаться с нейроном другого полушария без посредников. В живых организмах траектория роста нервных волокон задаёт возможность связи нейронов с рецепторами и возможные безусловные рефлексы. Разная начальная конфигурация (состав и расположение) рецепторов даёт основу для дальнейшего формирования личности, но не определяет её полностью.

9. Совсем не обязательно, чтобы дендриты (их около 10 000 у каждого человеческого нейрона) росли по отдельности. На одном длинном дендрите (паутинке из слизи) может быть очень много возможных точек-контактов – потенциальных парных связей с близлежащими аксонами.

Замечания к пункту 5. Положительная обратная связь (ОС) образуется в результате физиологического самостимулирования, в том числе через эндокринную систему; психологического само- и взаимного стимулирования: игры, шутки, смех, истории, анекдоты, чтение книг, просмотр TV. Более длинные положительные ОС образуются в процессе созидательной работы: от выпаса гусей, доения коров до написания книг, строительства домов, мостов и городов, посадки деревьев, воспитания детей, вплоть до негромкого, не афишируемого самопожертвования (хотя смерть красна только на миру). Ведь бывает и так, что люди для отстаивания своих

сформировавшихся у них ценностей идут на смерть, точно зная, что никто из тех, чьим мнением они дорожат, не сможет оценить их самопожертвования, поскольку не будет об этом знать.

Положительная ОС включает в себя и вредные зависимости:

- никотиновая;
- алкогольная;
- наркотическая;
- токсикологическая;
- азартная (различные игры).

С точки зрения стремления НС к минимизации раздражающих сигналов, с точки зрения увеличения результативности своих действий с минимизацией затрат, погружение индивидуума в игру или в принятие наркотика вводит зависимого в виртуальный мир индивида, делает виртуальный мир зависимого более подвластным самому патологически зависимому индивиду. На самом деле мир этот не объективен, а субъективен. Воспринимаемый индивидом окружающий его мир не таков, как он в реальности, а таков, каким его ощущает и чувствует зависимая личность. Суть поведения зависимого индивида заключается в увеличении своей значительности в своём виртуальном мире. Наркоман чувствует увеличение своих сил, ему всё кажется по плечу. Картёжник чувствует свою значительность по сравнению с некартёжниками, да и с другими партнёрами; как он может выйти победителем из сложных ситуаций, как он ориентируется в карточных раскладах – гораздо лучше, чем охотник при чтении звериных следов или альпинист при штурме отвесной скалы.

И преодолевать эти вредные, пагубные положительные обратные связи (ПОС), погружающие индивида в мир его виртуальной власти над его собственным окружающим виртуальным миром, можно только путём создания в поражённой личности конкурирующих, более сильных ПОС, подобно созданию новых условных рефлексов. Можно сказать, изменением индивидуальной системы ценностей индивида.

Глубина и вес ОС, образовавшейся и меняющейся в индивиде по ходу его жизни, зависит от системы ценностей индивида. Ценность, вес связи зависит также от степени её влияния на конечный результат. А результат всего один – разные степени прямого

непосредственного ощущения боли и прогнозирования ожидаемого уровня боли (различных раздражителей) в будущем.

Но, кроме ощущений у нас есть ещё и чувства – надстройка над ощущениями, образующаяся в ходе жизни. И мы чувствуем не только боль, но и удовольствие. По данному поводу можно сказать, что боль мы ощущаем непосредственно через рецепторы и чувствуем опосредованно с задействованием коротких и длинных нервных связей. Удовольствие же мы **не ощущаем** непосредственно, **а чувствуем** как отсутствие, как гарантию отсутствия боли сейчас или в будущем.

В двоичной системе связь чувств удовольствия, радости, с одной стороны, и боли – с другой, можно представить как «радость равна отрицанию ожидаемой боли», и наоборот.

Ценность связи определяется не только её прямым непосредственным весом, но и тем, с какого количества различных связей более раннего уровня (ближе к истокам сигналов) эта связь в конечном итоге задействуется, активизируется. Какая-то связь может быть многократно продублирована и для конкретного индивида может иметь ценность, недоступную для понимания других. Например, некто очень дорожит расческой, как правило, без афиширования этого факта. Откуда возникло это отношение? Может быть, что эта расческа когда-то доставила человеку необычайную радость:

- была подарена в счастливый момент;
- спасла человеку жизнь;
- может, она для человека символ успешного постоянства или напоминание о счастливом времени и т.д.

Конечно, из-за нашего исходного незнания множества деталей моделирования процесса мышления может оказаться, что мы поначалу задались неверными значениями уровней возбуждения нейронов, временем их возбуждения, временем восстановления нейрона после возбуждения, коэффициента разветвления, соотношения весов-проводимостей (сопротивлений) выходов и входов и т.д. И модель мозга сначала будет вести себя не совсем адекватно, подобно тому, как ведет себя и обычный мозг при попадании в него различных психотропных, алкогольных или наркотических веществ. Зато при поиске нужных соотношений между значениями всех параметров – уровней, времен, коэффи-

циентов функционирования модели – мы сможем в достаточной мере изучить действие различных психотропных, в том числе наркотических веществ не на живом человеке, а на компьютерной модели.

Чтобы проверить, насколько выдвинутые нами принципы организации работы мозга соответствуют функционированию нашего биологического мозга, или отвергнуть предлагаемые нами принципы и механизмы функционирования мозга, необходимо провести большую работу по исследованию образования межнейронных связей в биологическом мозге. Если такая работа будет проведена, то может оказаться, что некоторые из рассмотренных нами принципов функционирования мозга не совсем соответствуют природе естественного мозга или даже совсем не соответствуют ей. Но даже в этом случае предлагаемые нами принципы позволяют создать, построить искусственный мозг, способный к самоорганизации и могущий функционировать, начиная с «чистого листа», подобно мозгу младенца, начиная от его зачатия, к рождению и далее, что подтверждается работоспособностью уже созданных компьютерной и электронной модели минимальной нервной системы. Такой искусственный мозг сможет обеспечить выживание и жизнестойкость организма, управляемого этим мозгом, и даже продвижение этого организма через цепочку его потомков в сложных меняющихся обстоятельствах к потенциально высокоинтеллектуальному состоянию.

Скажем несколько слов о возможности создания модели мозга, более совершенного, чем мозг самого человека. В настоящее время распространён как будто неоспоримый тезис, что автомат, программа и сам человек **в принципе** не могут создать ничего более сложного, совершенного, чем они сами. Скажем, человек не в состоянии создать искусственный разум, существо более сложное и совершенное, чем он сам.

Так ли это? На чём основан этот тезис? На констатации положения, что более совершенные, более сложные автомат, программа, существо содержат больше информации, чем более простые, и на дальнейшей его абсолютизации: откуда, мол, появится информация сверх той, что была у более простого существа-создателя? Действительно, эти дополнительные порции информации, усложняющие объект, не могут появиться ниоткуда.

Казалось бы, эта дополнительная информация не может быть и сгенерирована более простым «субъектом» – создателем более сложного автомата или существа следующего поколения. Он не может выдать информации больше, чем в нём есть. Отсюда и следует утверждение о невозможности создания более сложного объекта более простым «субъектом» – создателем.

Однако хорошо известно, что практически у всех тренеров по любым видам спорта, равно как и у школьных и университетских преподавателей, есть ученики, имеющие гораздо лучшие результаты, чем были у самих тренеров и преподавателей. Часто более образованные и информированные дети умнее родителей. То есть в повседневной жизни мы сплошь и рядом видим факты, опровергающие указанный тезис о невозможности создания более развитого объекта – субъекта.

Почему так происходит? Да просто потому, что кроме активного «субъекта» – «создателя», инициатора процесса, будь это исходная яйцеклетка или инженер-исследователь, есть множество активных и пассивных вольных или невольных ассистентов, принимающих участие в процессе формирования, создания новых объектов-субъектов и наполнения их дополнительной (к «создателю») информацией. Активным ассистентом может быть и сам формируемый объект – ученик. Сам же инициатор-создатель в этом процессе представляет пусть самую активную, иницирующую, но лишь часть системы, формирующей новый объект, который может стать гораздо более сложным, чем «субъект»-инициатор. То есть система «создатель – объект создания» является открытой для связи с окружающим миром, откуда и поступает дополнительная информация. В качестве примера можно привести человека и яйцеклетку, из которой этот человек произошёл; инженера или школьника, собирающих из стандартных блоков некоего высокоинтеллектуального робота. Структура, информационная наполненность этих блоков совершенно неизвестна создателю новой конструкции, но в этих блоках воплощены знания и опыт миллионов людей. Все эти ассистенты, от окружающей среды до самого ученика, и поставляют дополнительную информацию, позволяющую ученику превзойти учителя.

В соответствии с изложенным к настоящему моменту была создана компьютерная модель простой НС с небольшим

количеством в её составе компьютерных моделей нейронов – нейроподобных элементов. Эта модель показала действенность описанных принципов функционирования мозга. Модель успешно выживала благодаря своей способности запоминать и образовывать условные рефлексы. Если же условия менялись, то модель изменяла своё поведение на адекватное новым условиям. То есть модель не только обучалась, но и переучивалась.

Более того, в рамках проведения НИР 9006 в Томском государственном университете была создана электронная модель минимальной нервной системы из 3 электронных нейроподобных элементов [21]. Эта минимальная модель, собранная на обычных электронных элементах, также показала способность к обучению и переучиванию, чем и была подтверждена работоспособность описанных принципов функционирования мозга, который может быть реализован на электронных элементах, которые могут иметь гораздо большее быстроедействие, чем биологические нейроны. В созданной в ходе НИР электронной схеме при приблизительно одновременной подаче на её входы сигналов-«раздражителей» самостоятельно образуются новые связи между входами и выходами нейроподобных элементов. То есть в электронной схеме образуется след события. При последующей подаче сигнала-«раздражения» на вход только первого нейроподобного элемента на выходе второго появляется реакция-«прогноз». Как будто раздражитель поступил на вход следующего, второго элемента. Эта реакция позволяет уклоняться от второго раздражителя уже при появлении первого раздражителя, предваряющего второй раздражитель. И тем самым уклоняться и от «прогнозируемого» второго раздражителя. Если же при изменении обстоятельств исчезнет второй раздражитель, а за первым раздражителем (совместно с ним) будет подаваться третий раздражитель, то включение первого раздражителя будет приводить к включению ставшей бесполезной реакции на прогнозируемый второй раздражитель. Но реакция модели (возбуждение 2-го НЭ) уже не будет приводить к избавлению от первого раздражителя, а также и от третьего раздражителя. В результате продолжающегося постоянного возбуждения (через первый элемент) второй нейроподобный элемент «устаёт» – повышается порог его возбуждения. Из-за усталости второй элемент перестаёт возбуждаться и компенсировать потенциалом на своих входах

возбуждающий потенциал на выходе первого электронного нейрона. В результате появляются условия для образования связи между выходом первого нейрона и входом третьего, и эта связь образуется. Недавно образовавшаяся связь имеет меньшее сопротивление – большую проводимость – больший вес, чем ранее образовавшаяся связь между первым и вторым нейроном. Поэтому впоследствии из-за большего веса связи первого нейрона с третьим третий нейрон будет возбуждаться раньше второго (хотя связь первого со вторым сохранилась!) и отрицательным потенциалом на своём входе при своём более быстром возбуждении будет препятствовать возбуждению второго нейрона. Схема начинает реагировать на раздражение первого нейрона возбуждением третьего и «предусмотрительно» уклоняться от третьего раздражителя, включив нужный 3-й манипулятор, и тем самым прекращать действие первого раздражителя. То есть произошло самостоятельное переучивание схемы, поскольку предыдущая реакция не приводила к успеху – уклонению от первого раздражителя за счёт «предусмотренного» ранее срабатывания 2-го манипулятора. Так что полноценный искусственный мозг на электронных элементах (даже превосходящий естественный мозг) вполне может быть изготовлен уже в недалёком будущем. Хотя для этого придётся решить некоторое количество технических задач, связанных с огромным количеством нейроподобных элементов в искусственном мозге, который по своим возможностям мог бы сравниться с человеческим мозгом или даже превзойти его. А также решить задачу обеспечения возможности образования связи между соседствующими нейроподобными элементами.

ОСНОВНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

**(обусловленные стремлением НС –
носителя личности к минимизации раздражений)**

В этой главе мы хотим представить наше видение движущих сил и устремлений людей (и других возможных разумных существ) – основ психологических явлений, обусловленных материальными механизмами функционирования НС, основ поведения существ с мозгом, богатым по своим возможностям. Понятно, что психологам совсем не обязательно знать механизм работы мозга на уровне нервных клеток, точно так же, как специалистам по теплотехнике для решения термодинамических задач не обязательно знать молекулярные механизмы, создающие термодинамические величины. Хотя в некоторых случаях без этих знаний успешно обойтись не удастся.

Мы уже говорили, что следы прошлых событий, определяющие поведение организмов под управлением нервных систем – связи между нейронами, могут образовываться только между возбуждёнными нейронами. Но как, в каких случаях могут возбудиться нейроны? Перечислим эти случаи в порядке, складывающемся, так сказать, исторически для каждого отдельного организма в ходе его развития.

1. Спонтанное возбуждение из-за различных случайностей – флуктуаций, например от пролета вблизи нейрона ионизирующих частиц высоких энергий, от химических неоднородностей, от излишней готовности нейрона к возбуждению. В частности, если нейрон постоянно только подпитывается, «заряжается», но не разряжается при возбуждении, поскольку у него ещё даже нет входных связей, через которые нейрон мог бы возбудиться, то он постоянно очень близок к порогу возбуждения, и для возбуждения нейрона достаточно малейшего толчка. Так часто бывает на самой ранней стадии развития организма, когда в организме появляются всё новые нейроны, а связей между ними пока нет. Происходящие в это время спонтанные возбуждения ещё не связанных между собой

нейронов приводят к образованию между рядом расположенными нейронами связей, материализующих безусловные рефлексy.

2. Возбуждение нейрона сигналом через единственный в данный момент активизирующий вход в условиях низкого порога возбуждения нейрона. Такое возбуждение часто происходит на стадии первоначального образования понятия, базирующегося и развивающегося в дальнейшем на этом нейроне и его окружении.

3. Нейрон возбуждается в обычном «рабочем» порядке сигналами от 2, 3... входов, когда возбуждения 1, 2... входов уже недостаточно для возбуждения нейрона. И наша мысль или воспоминание (по данному направлению) срабатывает только при подключении дополнительных признаков-ассоциаций. Такие многокомпонентные возбуждения нейронов (при воздействии на нейрон многих факторов) по большей части и происходят в жизни организмов.

При всех типах возбуждений почти каждый раз между двумя возбуждёнными нейронами образуются связи (30 000 новых связей в секунду!), если это возможно по топологии, взаимному расположению этих нейронов и по возбуждающим потенциалам. И этот единый механизм возбуждения и образования связей функционирует всю жизнь организма без перерывов на «обучение» и без переключений режимов «обучение»/«работа». Отсутствие этих перерывов отличает естественный мозг от моделей нейронных сетей, существующих сегодня. Помним, что природа экономна!

Перечислим теперь все случаи самообразования связей между возбуждёнными нейронами:

1) генетически обусловленные связи между нейронами, образовавшимися по рождению в нужных местах, реализующие безусловные рефлексy;

2) случайно образовавшиеся связи;

3) следы нашего чувственного опыта на самом низком, чисто функциональном уровне, отображающие работу наших органов чувств (чувство голода, боли и т.п.), материализующиеся в виде связей;

4) следы нашего менее заземлённого опыта, чуть осмысленные;

5) связи, образующиеся при обучении-усвоении опыта учителя, опыта других людей, изложенного в книгах, произведениях искусств (на различных материальных носителях). Образование этих связей

опирается не на собственный чувственный опыт индивидуума (через его рецепторы), а на опосредованное представление опыта других людей;

б) следы размышлений, при долгих хождениях сигналов по лабиринтам мозга, через уже сложившуюся структуру связей в мозге – связи между нейронами, образовавшиеся в результате мышления – многозвенного прогнозирования на уже существовавших структурах – связях.

И при этом нейроны нашего мозга сами, без какого бы то ни было вмешательства в его структуры со стороны образуют связи между собой!

Образование связей происходит в моменты, когда соприкасающиеся нейроны возбуждены под воздействием приходящих на их входы возбуждающих сигналов. Для отображения внешних обстоятельств и для успешного управления подопечным организмом нейронам больше ничего не надо. Никаких вмешательств извне! Под успешностью подразумевается обеспечение выживания и размножения организма.

Причём по мере развития мозга индивидуума, с приобретением все новых впечатлений, опыта (знаний) количество связей между нейронами быстро увеличивается. В качестве входных сигналов на входах-дендритах нейронов мозга часто выступают уже не отдельные сигналы от отдельных рецепторов, а фрагменты картины, состоящей из связной мозаики отдельных элементарных деталей. Уже после первых входных каскадов обработки внешних входных сигналов на последующие каскады нейронов поступают сигналы, являющиеся значениями многовходовых входных логических функций, реализующих различные (в том числе и очень сложные) комбинации функций «И», «ИЛИ». В итоге в мозге на основе простейших логических функций складываются очень разветвлённые связи типа дерева (программистский термин). Эти однонаправленные «деревья» в ходе жизни, в ходе их разрастания, соприкасаются с другими «деревьями», образуя, таким образом, обратные связи различной глубины. Деревья складываются в многомерные сети с миллиардами узлов-нейронов. И мы получаем полноценный мозг, управляющий отклонениями организма от непосредственных раздражителей (сигналов от них) или от сигналов, формируемых (синтезируемых) в мозге в ходе

непрерывного многозвенного прогнозирования, предвидения, опережения, базирующегося на множестве следов-связей в мозге, образованных предшествующим опытом организма.

Несмотря на исходную простоту, из-за невообразимо большого количества связей между нейронами мозга все их невозможно отследить с точностью до последней связи. Тем более что количество этих связей непрерывно растет с огромной скоростью (30 000 новых связей в секунду), а параметры связей меняются со временем.

Кроме того, на работу мозга оказывают существенное, а иногда и решающее влияние различные физиологические и биохимические обстоятельства. Например, алкоголь или какие-то биологические стимуляторы существенно изменяют пороги возбуждения нейронов и их способность к образованию связей – запоминанию. Различные биохимические, физиологические процессы и процессы, связанные с массопереносом, изменяют характеристики как мозга, так и организма в целом. Скорости этих процессов задают скорости различных автоколебательных процессов, т.е. задают различные ритмы: сердцебиения, дыхания, отправления физиологических потребностей, сна. Все эти процессы приводят к существенному усложнению функционирования мозга. Мы только упоминаем их влияние на работу мозга, но не имеем возможности рассматривать их все детально и поэтому оставляем за пределами нашего внимания.

Изложим наше видение некоторых важных черт психологических явлений, вытекающих из наших представлений о функционировании мозга с его стремлением к минимизации раздражающих воздействий. Это стремление возникает автоматически, поскольку инициирование сигналов, распространяющихся по структурам мозга, происходит лишь при воздействии на НС внешних для неё раздражителей. В структурах мозга сигналы только трансформируются, а не инициируются. Распространение сигналов по структурам мозга происходит со средним коэффициентом размножения, меньшим 1, иначе происходило бы самовозбуждение мозга. Так что сигналы, вошедшие в структуры мозга, достаточно быстро затухают. А мозг, лишённый внешних сигналов, с необходимостью засыпает. Поэтому и происходит минимизация раздражающих факторов – сигналов в мозге. По этой же причине в мозге каждого существа складывается

стремление к получению максимальных результатов (максимального воздействия на окружающий мир) при минимальных его усилиях. Это стремление выливается в стремление к овладению окружающим миром в пределах представления данного существа о мире. У одного мир – это место его работы, у второго – семья, у третьего – весь город, у четвёртого – страна, материк, вся Земля, или даже вся Вселенная!

Утверждение о стремлении индивидуума к овладению миром, доступным представлениям индивидуума, интуитивно очевидно и вне нашего подхода, также как и утверждение о фундаменте личности, образующемся в самом раннем возрасте. Но наш подход позволяет объяснить это стремление объективными материальными причинами.

СОВЕРШЕННО ЧИСТЫЙ МОЗГ. В мозге ещё не родившегося ребёнка (как и в мозге ещё не вылупившегося из яйца гусёнка) появляющиеся в результате деления клеток соприкасающиеся нейроны изначально, в исходном состоянии, ещё никак не связаны между собой, пока ничем не возбуждаются, поэтому они «перезаряжаются» сверх нормы. В это время нейроны из-за перезаряженности пребывают в состоянии, близком к самовозбуждению и последующему образованию связи с соседними – пробую тонкой изолирующей пленки при возбуждении нейронов в одно и то же время. Поэтому достаточно любой неоднородности, чтобы нейроны, в том числе и соседствующие, возбудились сами по себе. И именно в тот момент, когда соседствующие нейроны возбуждены в одно и то же время (независимо друг от друга), между ними образуется связь. Поэтому нейроны в такой ситуации (в начале жизни организма, когда количество связей между нейронами ещё мало) достаточно часто возбуждаются различными флуктуациями (например, поступила слишком большая порция питательных веществ, образовался их переизбыток, что эквивалентно понижению порогового уровня ниже нуля). При этом между самовозбудившимися нейронами образуются генетически предопределённые связи, обусловленные расположением нейронов по происхождению, которое определяется ходом строительства организма в процессе деления клеток. Эти связи образуются достаточно случайно во времени (нейрон самовозбудился, а его сосед нет), но далеко не случайно по топологии. Можно сказать, что будущие базовые связи

предопределены генетически, происхождением, расположением нейронов. По мере увеличения количества связей нейроны и мозг в целом отдаляются от возможности спонтанного образования связей вследствие самовозбуждения расположенных рядом нейронов, поскольку в результате увеличения токов утечек из-за появления большого количества связей сильно уменьшается вероятность их одновременного самовозбуждения. Преобладающим становится образование связей между нейронами, активированными входными сигналами, а не между самовозбудившимися нейронами.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ НОВЫХ ПОНЯТИЙ. Когда образуется связь между возбуждённым нейроном предыдущего каскада и самовозбудившимся нейроном, у которого пока ещё не было задействованных входов, к возбуждённому нейрону присоединяется пока ещё «чистый», без дополнительных входных связей нейрон. К «чистому» нейрону в дальнейшем могут присоединиться через его другие входы (расширяющие возможности коммутации) некие воздействия окружающей среды, поскольку присоединившийся ранее нейрон уже будет возбуждаться через образовавшуюся связь. Можно сказать, что на этом пока пустом, «чистом» нейроне до образования второй, третьей и т.д. связей было материализовано «пустое» понятие «следует за предыдущим понятием». Этот «пустой» признак возбуждает ещё «пустой» нейрон, пока не имеющий содержательных связей, отображающих связи внешнего мира.

ОБУЧЕНИЕ, ЗАПОМИНАНИЕ. Отметим, что все организмы с НС способны к обучению, у всех таких организмов с большим или меньшим успехом образуются условные рефлексы. Даже мухи быстро научаются улетать и прятаться от гонящей их тряпки. А уж общественные насекомые показывают прямо-таки чудеса образования индивидуальных условных рефлексов, организованного обучения и передачи опыта. Например, пчела-разведчица запоминает место обнаружения цветов-медоносов, находит путь к своему улью (недавно установленному в новом месте) и сообщает рабочим пчёлам, в каком направлении и как далеко нужно лететь за взятком. Это сообщение осуществляется без сложных абстракций, с опорой на привычную пчелиную практику. Так, направление полёта указывается относительно текущего положения солнца, а расстояние передаётся продолжительностью «танцевального движения» разведчицы [17].

В процессе обучения новые связи образуются более легко, если нейроны, представляющие (материализующие) в мозге некоторый образ рассматриваемого объекта-раздражителя со всеми его аспектами, активированы тем или иным способом продолжительное время. Обязательно вместе с активизацией других объектов, с которыми мы надеемся образовать в мозге новые связи типа «когда А, тогда и Б». При обучении чему-то новому обязательно привязка к известному, старому. Причём чем больше ассоциаций, тем лучше запоминание. Иначе эффект обучения – мизерный. Мы просто не можем увидеть ничего нового без опоры на уже известное – новое понятие просто не будет материализовано, «привито», «посажено» на какой-то нейрон, могущий быть возбуждённым в результате уже случившегося воздействия некоего известного фактора. Следует отметить, что благодаря очень развитой системе обучения с помощью учителя, опирающегося на авторитет предыдущего опыта, человек продвинулся в познании окружающего мира через обучение существенно дальше, чем другие высокоразвитые животные. Хотя исходный, генетически обусловленный умственный потенциал человека отличается от потенциала высших животных не столь существенно. Нет очень большой разницы в генетически обусловленных умственных способностях человека и высших животных.

Однако на практике мы всегда наблюдаем суммарные способности – генетически обусловленные плюс приобретенные в результате развития, обучения личности, индивидуума – и можем оценить только их суммарное различие. И здесь разница итоговых способностей человека и животных уже велика. Можно сказать, она представляет собой непреодолимую пропасть. Но если мы оглянемся на нашу историю, то увидим, что всего лишь десятки тысяч лет назад (тысяча поколений на фоне сотен миллионов поколений существования животных с НС) бытие человека немногим отличалось от бытия животных. Это говорит о несущественных различиях в развитии человека и животных в то время, когда у людей ещё не было такой развитой системы обучения. И, соответственно, о не таком уж значительном различии генетически обусловленных умственных способностей человека и животных, определяемом различиями строения мозга человека и высших животных.

С другой стороны, в наше время имеются факты обучения обезьян человеческому языку глухонемых, языку жестов. **Полный** словарный запас этих обезьян достигал 2 000–3 000 слов, что соответствует количеству слов, **обычно** употребляемых «средним» человеком [12]. Причём такой результат был достигнут при полном отсутствии традиций и опыта обучения обезьян людьми, тогда как у людей существуют выверенные тысячелетиями традиции воспитания и обучения своих детей, позволяющие получать оптимальный результат привычными путями, без особых размышлений на эту тему.

С третьей стороны, сегодня человеческие дети-Маугли, попавшие в среду животных в самом раннем возрасте, мало чем отличаются в своём поведении от воспитавших их животных. Они могут умственно вырасти до уровня вожака, передового представителя животной стаи, но никак не до уровня человека с университетским образованием (хотя по поводу выживания в лесу они дадут фору любому человеку). Все это говорит о том, что человек смог существенно опередить животных благодаря, в решающей степени, своей человеческой среде, в которой развивается личность, с её непрерывным многолетним и весьма продуктивным обучением. И человек ушёл далеко вперед от животных благодаря очень развитой многоступенчатой системе обучения, образования, начиная от научения простейшим бытовым навыкам и заканчивая различными философскими и космогоническими учениями с их попытками определения нашего человеческого места в познанной (и непознанной) части мироздания.

Процесс обучения представляет собой имитацию, моделирование различных исходных ситуаций с изображением следствий, вытекающих из этих исходных ситуаций. Уровень имитации различный – от простого механического, когда водят рукой ребёнка, обучаемого еде ложкой или письму, до мировоззренчески абстрактного. Обучение основывается на авторитете учителя, школы, учебника и вообще всего института образования. Этот авторитет соответствует приобретённой по ходу жизни уверенности ученика в том, что показываемые ему при обучении связи между объектами и явлениями соответствуют действительности. В результате наблюдения процесса функционирования представляемой модели в мозге обучаемого образуются связи,

соответствующие реальным процессам, отношениям, хотя обучаемый сам их не наблюдал.

Но иногда образование правильных новых реакций в силу каких-то причин затруднено. Скажем, по причине отсутствия благоприятных условий на пути должного образования цепочки связанных нейронов, реализующих правильный рефлекс, осуществляющий движение рук, ног, как это имеет место у некоторых больных детей. Дети не могут овладеть такими же движениями, как у других, здоровых детей, обычными способами, что приводит к физическим и моральным страданиям и детей, и их родителей. Как можно было бы поспособствовать хотя бы частичному преодолению этой болезни? Методики есть, они сводятся к различным оздоровительным процедурам. С одной стороны, к использованию лекарств и физиотерапии. С другой стороны, к формированию навыков правильных движений, т.е. к созданию адекватных цепочек, реализующих двигательные рефлексы. Формировать эти движения (создавать правильные цепочки нейронов) должны врачи и родители, поскольку у ребёнка нет образца движений и не хватает опыта и терпения на обучение. Задачу формирования нужных рефлексов (создания цепочек нейронов) можно было бы упростить с увеличением результативности, создав для таких детей экзоскелеты вместо того, чтобы создавать экзоскелеты для военных целей. Чтобы экзоскелеты мягко и настойчиво направляли движения детей, не вызывая у них раздражения опекой других людей.

ЗАБЫВАНИЕ. Представляет собой процесс уменьшения логических весов связей между нейронами в результате естественного уменьшения со временем проводимости связи – увеличения её сопротивления. Уменьшение весов связей со временем не только приводит к забыванию (отрицательному результату), но и обеспечивает возможность переучивания организма на основе уменьшения со временем весов старых связей. То есть обеспечивает изменение поведения при изменении окружающих условий, чем обеспечивает выживание организма при изменении условий. Такое изменение реакции организма на изменившиеся последовательности событий сегодня принято называть образованием новых рефлексов с «торможением» старых.

ПЕРЕУЧИВАНИЕ. Поскольку обстановка, в которой существуют животные, существа с НС, непрерывно изменяется (хотя бы по ходу перемещения из пункта А в пункт В, когда встречаются то острые камни, то ручей), животному постоянно приходится менять своё поведение в соответствии с обстановкой; переучиваться, даже если незначительно. Возможность переучивания реализуется очень естественно и экономно. Переучивание становится возможным, обеспечивается, в первую очередь, потому, что связи между нейронами со временем слабеют, уменьшается их вес (проводимость). Кроме ослабления старых связей, переучивание обеспечивается ещё несколькими естественными характеристиками НС.

Во вторую очередь появление новой реакции вызывается к жизни тем, что старая реакция не приводит к успеху, поэтому действие раздражителя не прекращается, несмотря на привычную реакцию организма – возбуждения нейронов старой рефлекторной цепочки. В результате нейроны, задействованные в старой рефлекторной цепочке, устают – повышается их порог возбуждения, они начинают возбуждаться при гораздо большем значении возбуждающего потенциала, чем нужно для возбуждения отдохнувших нейронов. Поэтому появляется возможность возбуждения других близлежащих нейронов вне старой рефлекторной цепочки.

В-третьих, такие нейроны вне старой цепочки в конце концов возбуждаются, образуя при возбуждении новые связи. Образуется новая цепочка новой реакции. Поскольку в основе работы НС лежит принцип возбуждения и образования новой цепочки за счёт выдачи на вход потенциала противоположного знака, то автоматически реализуется мягкая версия правила «Первый получает всё». Первый возбуждённый нейрон отрицательным потенциалом на своём входе не только способствует возможному образованию новой связи на его входе, но и препятствует возбуждению других нейронов. Так что старая цепочка уже не сможет возбудиться, старый рефлекс остаётся незадействованным. Как продолжают говорить сегодня, происходит «торможение» старого рефлекса. Для увеличения результативности практического переучивания (движений, произношения) следует воспользоваться знаниями о формировании новых цепочек реакции, конкурирующих со старыми. Для образования новых цепочек

следует создать соответствующие условия – утомить старые цепи непрерывным их раздражением для того, чтобы повысить пороги возбуждения нейронов в старой цепочке, и в это время подключением нового воздействия добиться правильной реакции. При этом сразу же выключить раздражение. В данном случае можно руководствоваться аналогией с преодолением старой глубокой колеи – её надо стараться пересечь почти под прямым углом, иначе вас всё время будет стягивать в старую колею. Отметим, что аналогия эта не поверхностная, не «ради красного словца». Можно сказать, что речь идёт о преодолении потенциальных ям в потенциальных полях, описываемых одинаково – в гравитационном поле в случае колеи и в электрическом поле в случае поведения потенциалов в мозге.

ОЗАРЕНИЕ, ОТКРЫТИЕ. Оно представляет собой процесс образования цепочки, последовательности связей между понятиями, событиями. Когда в мозге есть две или более одновременно активированные, возбуждённые области понятий, между ними может образоваться, возникнуть связь, часто случайная, как путь молнии, определяемый не только действующими потенциалами, но и различными неоднородностями, в том числе от ионизирующих излучений. Чаще всего в мозге образуются короткие прямые связи: «возбуждение N1 происходит одновременно с возбуждением N2». Реже образуются связи между понятиями, не имеющими прямого контакта, с одним промежуточным активным элементом-нейроном между ними (с двумя связями). И гораздо реже образуются цепочки с двумя и более промежуточными нейронами между понятиями. Это и есть озарение, открытие. Единоновременное образование таких «много-звенных» цепочек крайне маловероятно. Увеличить эту вероятность можно за счёт активизации промежуточных понятий – логических островков, как мы и делаем при решении различных сложных задач, разбивая их на подзадачи, активизируя нужные участки мозга с помощью рисунков, диаграмм, обсуждений и т.п. Особенно хорошо это видно при вмешательстве в процесс решения задачи учителя с его направляющими подсказками.

ВНИМАНИЕ – ЕДИНСТВЕННОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ МЫСЛИ. Во всяком случае не слишком взрывообразное распространение мысли. Так же, как и «торможение», сосредоточение внимания или единственность центральной мысли обеспечивается, в основном,

отрицательной ОС самого низкого уровня: физического (физиологического) за счет резкого уменьшения потенциала на входе первого же возбуждшегося нейрона следующего каскада. Это резкое уменьшение потенциала на входе возбуждшегося нейрона уменьшает потенциал выхода возбуждающего нейрона предыдущего каскада. И потенциал этого выхода уже не в состоянии возбудить другие нейроны, входы которых связаны с выходом возбуждающего нейрона предыдущего каскада. Вход возбуждшегося нейрона следующего каскада может уменьшать потенциал возбуждающего нейрона предыдущего каскада через низкое сопротивление новой, образующейся при пробое связи, если возникшая разность потенциалов между выходом возбуждающего и входом какого-либо соседствующего возбуждаемого нейрона была достаточна для «пробоя». Уменьшение потенциала выхода возбуждающего нейрона может происходить и без пробоя, без образования новой связи; в случае наличия свежей связи с малым сопротивлением разность потенциалов может и не доходить до напряжения «пробоя». Уменьшение потенциала выхода возбуждающего нейрона происходит из-за того, что его выходное сопротивление достаточно велико, тогда как входное сопротивление возбуждшегося нейрона достаточно мало. Поэтому возбуждающий нейрон уже не сможет активировать другие нейроны каскада, в котором он уже возбудил один (первый) нейрон. Так что, несмотря на то, что сигнал с аксона-выхода возбуждённого нейрона приходит на множество входов-дендритов разных нейронов, связанных с возбуждённым выходом-аксоном, в следующем каскаде, как правило, будет возбуждён лишь один нейрон (в пересчёте на один возбуждающий нейрон в предыдущем каскаде). Другими словами, средний коэффициент размножения сигналов на очередных каскадах $K_{\text{размножения}}$ не больше 1. То есть мысль не будет размножаться взрывообразно, не будет распараллеливаться, а будет продвигаться дальше, не нарушая существенно своей единственности.

Но если приблизительно на этом участке мозга находится много других возбуждённых нейронов, например, в результате сильного раздражения, то параллельно с первым нейроном может быть возбуждено и несколько других нейронов, почти параллельных с первым. Они будут возбуждены почти одновременно, с небольшим разбросом по времени. А на индикаторе экспериментального

электрода, вживленного в мозг подопытного животного, мы увидим серию импульсов! То есть предлагаемый нами механизм работы мозга позволяет дать ещё одно объяснение возможного механизма формирования серии импульсов при сильном раздражении [9] в дополнение к данному ранее в главе «Схема электрическая принципиальная мозга» (из-за самоблокировки), где показана генерация серии в чистом виде при длительном (сильном) входном раздражении.

Кроме того, единственность центральной мысли, находящейся в центре нашего внимания, поддерживается и более длинными обратными связями. Скажем, человек вслед за мыслью (параллельно с нею) шевелит губами или говорит вслух. Или разговаривает с кем-то. Так что новые входные сигналы – обратная связь от губ, от голосовых связок, слова собеседника от слуха – поддерживают **наше внимание – состояние с данной центральной мыслью.**

При воспоминании чего бы то ни было данная вспоминаемая связь как бы обновляется. Для этого видны две возможности:

а) прокладывается новая, параллельная связь, возможно, с другими ассоциациями;

б) уменьшается сопротивление уже существующей связи, т.е. увеличивается вес связи и тем самым облегчается возможность воспоминания данной связи-события. По крайней мере в ближайшем будущем.

Возникает практический вопрос. Как при разговоре можно изменить тему, которая «единственна»? Здесь видны два пути:

– заготовить на предполагаемом пути развития диалога поворот на ответвление, возможно с помощью вопроса;

– резко, возможно необоснованно, изменить тему разговора ярким доводом.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЫСЛИ. При последующих прохождении мысли по казалось бы одному и тому же пути мысль каждый раз проходит по несколько изменившемуся пути. Даже если мысль пробегает по одной и той же последовательности возбуждаемых нейронов, то состояние этих нейронов слегка изменяется по сравнению с состоянием при предыдущем прохождении мысли по этому же пути (возбуждении тех же самых нейронов). Это происходит по следующим причинам:

– несколько изменилась совокупность сигналов от внешних обстоятельств;

– за время от предыдущего прохождения мысли изменилась структура мозга – появились новые связи и модифицировались (уменьшились) веса старых связей;

– если мысль проходила недавно, то возбуждённые при её прохождении нейроны «устают» и некоторое время имеют несколько более высокий порог срабатывания, т.е. несколько изменились пороги чувствительности нейронов (рис. 22).

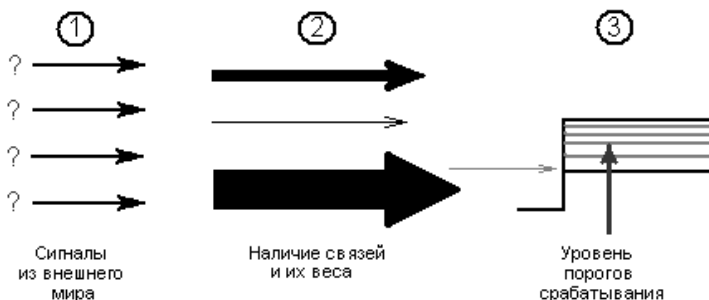


Рис. 22. Влияние входных сигналов, структуры мозга (связей) и уровня порогов на прохождение мысли

Все эти факторы в совокупности приводят к тому, что мысль при повторном прохождении, начиная с некоторого пункта, может пойти по другому пути. В любом случае, даже при сознательной попытке заикливания мысли, из-за усталости-разряженности нейронов, повышения порога их срабатывания мысль, в конце концов, вынуждена будет пойти по другому пути – через другие рядом лежащие, но ранее не возбуждавшиеся этой мыслью нейроны, порог возбуждения у которых остался прежним.

«ВНУТРЕННИЙ ГОЛОС». У каждого из нас иногда вставляет своё слово «внутренний голос», который, по моему мнению, представляет собой цепочку мыслей, протекающих одновременно и почти параллельно с «единственной» центральной мыслью. Такие цепочки могут возникать в результате того, что на каком-то этапе случайно нарушается единственность нашей мысли – в очередном каскаде возбуждается не один нейрон, а два. Представляется

вероятным, что нарушение единственности происходит достаточно часто. Но в основном параллельная мысль без положительной обратной связи от губ, голосовых связок и т.д. быстро затухает. Хотя иногда «внутренний голос» пробивается и на первый план.

СОН. В течение дня (периода бодрствования) многие нейроны головного мозга и особенно входные нейроны, принимающие и проводящие, пропускающие внешние сигналы внутрь мозга, постепенно утрачивают работоспособность – разряжаются и не успевают восстановиться-зарядиться до своего работоспособного состояния. Если какие-то неразряженные группы нейронов и остались, то от этого суть общей картины не меняется: в доминошной аналогии начала доминошных дорожек лежат в изнеможении от предшествующих возбуждений, разрядивших нейроны. Сигналы от рецепторов, особенно на сравнительно узком входе в головной мозг, где нейроны в среднем более загружены (чаще возбуждаются) и потому более разряжены, в самых первых звеньях цепочек в головном мозге гаснут, не распространяются дальше. И человек уже ничего не видит, не слышит, не ощущает. Продолжают функционировать лишь небольшие участки нейронов, ещё не разряженных или успевших зарядиться по ходу дня.

Ночью, вернее при отдыхе, количество сигналов, входящих в мозг, снижается и по внешним причинам – мы соблюдаем тишину, темноту, и по внутренним – снижается пропускная способность входов – повышается порог срабатывания входных нейронов из-за их усталости-разряженности. Срабатывает также и обратная связь – входные нейроны перестают пропускать слабые входные сигналы из-за отсутствия дополнительной активации этих нейронов через их различные вторые и третьи входы со стороны внутренних структур мозга, способствовавшие прохождению сигнала дальше в результате возбуждения входных нейронов. Прохождение сигналов в мозг из-за усталости входных цепей затрудняется. Редкие проникшие в мозг сигналы постепенно угасают, мозг погружается в сон, когда по мозгу перестают распространяться сигналы, порождённые внешними обстоятельствами. Сигналы как бы блокируются на входе. Но блокируются не полностью – очень сильные раздражители продолжают преодолевать входной барьер и удерживают нас до поры до времени от погружения в сон.

Отдельные участки спящего мозга, лишённого входных сигналов, иногда могут активироваться самопроизвольными флуктуационными возбуждениями. А дальше возникшая от этого самовозбуждения мысль (сигнал) некоторое время, пока не угаснет, бродит по мозгу вероятными и потому правдоподобными путями. И мы видим сон, по нашему восприятию похожий на явь.

За счёт отдыха в период блокирования входных сигналов все поле нейронов мозга успевают запастись питательными веществами, накачаться энергией на последующее бодрствование – восстанавливается, «взводится». Особенно важен отдых для входных и выходных нейронов. Тем более, что отдых и восстановление особенно нужны всем мышечным тканям, с которыми активно взаимодействуют в течение бодрствования входные и выходные нейроны. Тогда как в самом мозге многие нейроны могут оставаться незаряженными, не активизированными не только в течение дня, но и на протяжении многих лет – ни разу их не вспоминали, не активизировали всё это время.

Явная незаряженность многих нейронов мозга вместе со сновидениями являются аргументом в пользу того, что в основе погружения в сон лежит потеря работоспособности из-за заряженности именно входных и выходных нейронов, а не всех нейронов головного мозга. Но даже во сне, когда наше центральное сознание спит, некоторые из входных и выходных нейронов продолжают работать в особо ответственных цепях управления сердцебиением, дыханием, работой желудка и т.п.

Кроме отдыха, «заряжения» нейронов, во время сна благодаря низкой активности мозга – малому количеству пропускаемых в мозг сигналов от внешнего мира огромное количество невозбуждаемых в это время нейронов «заряжается» до такой степени, что приближается к состоянию самовозбуждения и даже иногда самовозбуждается. При этом во время сна кроме сновидений происходит разрастание нейронных структур за счёт образования связей между близко расположенными самовозбудившимися во время сна нейронами. И нейронные структуры в результате сна становятся способными к восприятию и фиксации новых ассоциаций, поскольку во время сна сами носители ассоциаций разрастаются за счёт самовозбуждений отдохнувших нейронов.

Когда входные цепи мозга отдохнут (понижутся пороги возбуждения), входные нейроны начинают пропускать сигналы обычного уровня, мозг вместе с организмом просыпается от пришедших сигналов обычного уровня типа пения птиц. Но даже если входные цепи мозга ещё не отдохнули, мозг может быть разбужен очень сильными сигналами (громким звуком, ярким светом), которые могут пройти в мозг даже через «блокировки» на его входе.

ВСПОМИНАНИЕ. Мы можем годами не вспоминать какие-то обстоятельства, события. А может быть, и никогда их не вспомним. Но, если сложатся обстоятельства, то можем и вспомнить. Пусть в какой-то местности, скажем на седьмом километре дороги из пункта А в пункт Б мы не были много лет. Понятно, что ничего об этой местности мы не помним и можем не вспомнить даже при наличии желания. То есть нейроны, на которых оставила следы (зафиксирована) эта местность, не активируются. Но когда мы попадаем на этот самый седьмой километр, на наши нейроны действует вся окружающая обстановка, и конфигурация возбуждающих сигналов становится примерно такой же, как и много лет назад, когда эта конфигурация сигналов возбудила какую-то совокупность нейронов, которые в последующий момент образовали связи с другими нейронами. А сейчас через всю совокупность следов событий, через образовавшиеся много лет назад связи и будут возбуждены нейроны, которые тогда были возбуждены в последующий момент. И поэтому в нашем сознании всплывёт картина, которая должна предстать перед нашими глазами в следующий момент. Например, мы ясно представляем, что после поворота дороги перед нами откроется вид с невысокого берега местной речушки.

КРАТКОВРЕМЕННАЯ ПАМЯТЬ. В течение короткого времени возбуждённый нейрон продолжает оставаться в состоянии возбуждения, т.е. мы ещё помним событие, зафиксированное на ещё возбужденных нейронах или на закольцованной цепочке из таких нейронов, составляющей положительную обратную связь на этом участке. К тому же все недавно образовавшиеся связи имеют больший вес, чем давние связи, поэтому через эти новые, более сильные связи легче активировать нейрон. И нам достаточно легко вспомнить, о чем мы думали или что видели несколько минут назад сегодня.

В соответствии с нашими представлениями об образовании следов событий (без предварительной централизованной обработки и перераспределения сигналов, без каких бы то ни было пересылок информации из кратковременной памяти в долговременную на основе определения ценности информации неким оценивающим механизмом) возможны как минимум два механизма реализации долговременной и кратковременной памяти:

– два типа проводимости в одном канале с разной скоростью угасания проводимости (скажем, проводимость в канале при пробое диэлектрика образуется по типу пробоя жидкости и твёрдой плёнки);

– фиксация следов событий в нескольких местах с естественным распараллеливанием сигналов (входящей информации) по ходу их продвижения по структурам мозга. В местах долговременного и краткосрочного хранения несколько различаются условия образования связей и скорости их угасания (забывания) в разных местах за счёт вариаций физиологических параметров.

ПОДСОЗНАНИЕ. Входящие внешние сигналы возбуждают не только единственную центральную мысль, находящуюся в центре нашего внимания (представляющую внимание, стремящуюся стать единственной), поддерживаемую обратными связями различной глубины, но и множество коротких, быстро затухающих без положительной обратной связи одновременных параллельных мыслей, не выходящих на передний план нашего внимания. Но этих быстро затухающих коротких цепочек мыслей бывает достаточно для того, чтобы без отчёта перед единственной центральной мыслью, перед сознанием (перед вниманием), без контроля со стороны центрального сознания создать в мозге множество связей, которые будут оказывать существенное влияние на последующее протекание мыслей. Это не контролируемое (не наблюдаемое) центральным сознанием образование связей и называют подсознанием.

ИНТУИЦИЯ. Неформализованное знание. Некий прогноз, суждение делается не в результате логически обоснованных выводов (прослеживаемых связей), а на основе неформализованного неосознаваемого накопленного опыта подобно тому, как человек с развитым чувством пространства может, находясь в лабиринте, указать геометрическое направление на вход или на выход.

ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТЬ ЧЕЛОВЕКА. Например, к математике. Она может определяться большим количеством потенциальных связей в некоторой зоне мозга, в которой начали формироваться математические понятия. То есть предрасположенность определяется топологией, расположением пучков нервных волокон, потенциально могущих войти в контакт с группами других нейронов, на которых исторически «поселились» первые математические понятия, возможно, ещё до рождения человека. И если у данной личности эта часть мозга оказалась более способной к развитию связей, то эта личность будет более способна к математике, чем, скажем, к рукоделию или к музыке. Понятно, что при усиленной практике математическая или музыкальная зона обрастает связями с другими зонами мозга, так что любые способности могут быть развиты.

Несмотря на то, что нейрофизиологи достаточно чётко различают в коре головного мозга человека устойчивые по местонахождению зоны, ответственные за тот или иной вид деятельности мозга: речь, обоняние, слух и т.д., – расположение этих зон не слишком жёсткое, без жёсткой обязательной заданности. Такой результат (отсутствие жёсткой привязанности к месту в мозге центров речи, слуха) получен благодаря современным методам, без хирургического вмешательства, при экспериментах с вполне здоровыми обычными людьми путём наблюдения активности участков мозга посредством магнитно-резонансной томографии у группы пациентов. Это наблюдение подтверждается также тем экспериментальным, уже хирургическим фактом, что котята, у которых сразу после рождения, когда они были ещё слепы, была удалена часть коры, обычно отвечающая у взрослых кошек за зрение, вырастали совершенно зрячими [11] с другим территориальным размещением зрительной зоны. Это ещё раз доказывает сверхнадёжность центральной нервной системы (ЦНС) с ее способностью к адаптации, к обходу препятствий. Результаты эксперимента говорят о том, что у прооперированных котят нервные связи, ответственные за зрение, вынуждены были разместиться и разрослись на неповреждённых участках мозга, отличных от обычных мест размещения зрительных зон у других кошек (где начальное расположение нейронов больше способствовало разрастанию связей под влиянием сигналов, приходящих в эту

область). Эти факты говорят о том, что информация в мозге человека обрабатывается структурами мозга, не только генетически предопределёнными их происхождением, но в не меньшей степени и структурами, сложившимися к данному моменту времени в ходе развития организма. Поэтому математические способности, так же как и способности к музыке, могут быть развиты в любом возрасте, но наиболее успешно это можно сделать в период наибольшей пластичности, изменчивости мозга – в ранние детские годы.

И всё-таки генетически обусловленные (взаимным расположением нейронов) связи, реализующие безусловные рефлексы, оказывают чуть ли не решающее влияние на формирование условных рефлексов, которые строятся на основе безусловных. Именно поэтому движения (проявление совокупности безусловных и условных рефлексов) генетически родственных людей (братьев, родителей, детей) часто бывают очень похожи. Даже если эти родственники никогда не видели друг друга. Но если задаться целью, то движения, двигательные рефлексы можно изменить до неузнаваемости (можно перейти от тяжёлой походки усталого грузчика или моряка к летящей походке балерины).

ИГРЫ. Функционирование собственно НС заключается не в генерации нервных импульсов, а в проведении этих импульсов от рецепторов (реагирующих на воздействие среды и генерирующих нервные импульсы) к манипуляторам, осуществляя адекватную реакцию организма, обеспечивающую выживание организма, с отображением (с фиксацией) в мозге следов происходящих событий в результате прохождения вошедших в мозг сигналов через нейронные структуры мозга всё дальше. Накопленный жизненный опыт организма отображён в следах событий, произошедших с организмом ранее. А текущие события непрерывно отображаются, в свою очередь, в виде постоянно образующихся новых связей между нейронами под воздействием сигналов, поступающих в мозг. Следы событий реализуются в виде новых (со скоростью 30 000 связей в секунду) и модификации существующих связей между возбуждёнными в данный момент нейронами, образующихся в результате (в ходе) воздействия событий-раздражителей на организм. Нервные импульсы в НС только трансформируются (проходя по следам предыдущего опыта), но не генерируются. Генерируются же они за пределами НС, на её входе, в рецепторах, трансформирующих воздействие среды на организм в

различных видах (механическое, акустическое, электромагнитное, химическое, тепловое) в стандартные электромагнитные сигналы, наиболее легко трансформирующиеся затем в пределах НС. Отметим ещё раз, что в рецепторах нервные импульсы также не генерируются сами по себе, произвольно, а появляются в результате трансформирования в рецепторах воздействий внешней среды на нервную систему организма.

Так что поведение организма представляет собой реакцию нервной системы организма, управляющей организмом, на какие-то воздействия на организм внешней среды. При этом нервная система не только пропускает через себя сигналы воздействия среды на организм, но и непрерывно модифицируется, трансформируется следами событий, воздействующих на организм – каждую секунду в мозге человека образуется порядка 30 000 новых связей. Эти следы в виде связей между нейронами остаются в НС организма на всю оставшуюся жизнь и представляют собой историю, опыт организма.

Видим, что организм начинает как-то активно действовать лишь в виде прямой реакции на непосредственное воздействие среды. Но прямая непосредственная реакция наблюдается только у простейших организмов: организм большую часть времени пребывает в покое, в спячке; появилось чувство голода – насытился, опять заснул. В сложных организмах нейроны связаны в очень длинные цепочки. В том числе с задействованием положительных обратных связей. Поэтому даже совершенно незначительные раздражения, подействовавшие на рецепторы, бродя по длинным цепям лабиринтов связей между нейронами, выходят на пути проведения особо важных для жизни сигналов. Так что дуновение ветерка приводит к мысли: а что будет завтра с моим обедом, есть ли у меня дрова, чтобы согреться у костра при завтрашнем холодном ветре.

И нервная система организма стремится минимизировать раздражения, не только непосредственно воздействующие на организм в данный момент, но и спрогнозированные на завтра и далее, связанные с его завтрашним жизнеобеспечением: как добыть пищу, как защититься от опасностей, от врагов. Это стремление к минимизации не зависит от типа раздражителя – нейроны и структуры на их основе не могут знать, откуда приходят возбуждающие их сигналы – от рецепторов, в результате прямого воздействия среды или в результате многоступенчатого

прогнозирования. Отсюда и возникает невольное прогнозирование на завтра и на далёкое будущее и моделирование своего поведения в этих прогнозируемых ситуациях.

Это моделирование собственного поведения в прогнозируемых ситуациях в сообществах организмов (в которых легче выжить, обучаясь на примерах соседствующих особей, членов сообщества, товарищей) неосознанно складывается в игры, а затем и в целенаправленное обучение с использованием не только собственного опыта, но и опыта других членов сообщества. Этот опыт поначалу передаётся при непосредственном общении, через действия, жесты, звуки, речь, появляющуюся в сообществе (и по мере развития юных членов сообщества). По мере развития, усложнения жизни, опыт сообщества начинает фиксироваться не только в виде фольклора, но и в материальных объектах, что облегчает его долговременное сохранение, накопление и передачу другим членам сообщества. Опыт фиксируется в каком-то виде: в виде изделий – каменных орудий и глиняной посуды, наскальной живописи, в клинописных табличках, в книгах, в библиотеках, в Интернете.

В сообществах организм с целью расширения своих возможностей в деле минимизации раздражений (больше результатов при минимуме затрат) стремится не только к совершенствованию своих двигательных способностей, но и к использованию так или иначе возможностей других членов сообщества. В связи с чем и складываются взаимоотношения. В частности, отношения взаимного соподчинения (иерархии).

БОЛЬ. Базовый обобщённый универсальный индикатор опасности для организма фактора, породившего входной сигнал, который и воспринимается как боль. Связи, обеспечивающие прохождение сигналов многих видов боли, порождаются генетически. Нейроны, «проводящие» боль, переплетаются, соединяются между собой по своему генетически predetermined топологическому, географическому положению, образуя первооснову боли. Остальные виды боли постепенно присоединяются к первооснове боли в том случае, когда следствия сигналов каких-то раздражителей доходят до структур-носителей первоосновы боли. Напрямую с болью связано стремление выжить. Боль, как и система ценностей индивидуума, СУБЪЕКТИВНА.

Несмотря на единый для всех членов популяции объективный физиологический фундамент, поскольку у боли есть и психологическая, субъективная составляющая. Например, для одного человека проигрыш футбольной команды вызывает психологическую боль, а для другого – наоборот, радость: его команда выиграла, а команда соперника проиграла.

СУТЬ ЖИЗНИ – ВЫЖИТЬ И РАЗМНОЖИТЬСЯ! Иначе линия жизни популяции прерывается. Сущность, содержание жизни – сохранение и размножение себя. Эти фундаментальные черты – самосохранение и размножение – и есть основная линия поведения индивида. Выживали, выживают и будут продолжаться в будущее только те организмы, которым в полной мере присущи эти черты, начиная от плесени, у которой ещё нет никакой нервной системы, и заканчивая представителями высокоразвитых цивилизаций с очень богатой нервной системой. В самых глубоких слоях их нервных систем, на уровне безусловных рефлексов, складывающихся генетически обусловленно задолго до рождения, ещё до наступления существенного влияния внешних обстоятельств, на уровне первичного, генетически обусловленного «чувства боли» заложено стремление уклониться от раздражителей, что эволюционно эквивалентно стремлению организма сохраниться в целостности и сохранности. Выживали только те организмы, у которых стремление уклониться от раздражителей возникло и передавалось в качестве безусловных рефлексов. Выжили только те организмы, рецепторы которых предупреждали организм об опасности. Поступление в НС любых сигналов заставляет НС что-то делать до тех пор, пока не исчезнет раздражитель, пока организм не уклонится от воздействия сигнала-раздражителя. В итоге из-за того, что любое прохождение сигналов по НС всегда инициируется раздражителями, и происходит, как реакция НС на эти раздражители, получается, что НС стремится уклониться от раздражителей. Есть раздражители – есть реакция. Нет раздражителей – нет реакции.

А уже на основе безусловных рефлексов, формирующихся в организме генетически обусловленно, под воздействием жизненного опыта организма складываются, надстраиваются поведенческие комплексы, обеспечивающие и выживание, и размножение организма в сложных условиях быстро изменяющейся среды. Выживание и размножение совместно обеспечивают продолжение

линии жизни организма в будущее. Но если стремление к выживанию реализуется логически совершенно просто, то стремление к размножению реализуется несколько сложнее. Если стремление выжить равносильно непосредственно убегающему, уклонению от боли, от опасности, то базовое стремление размножиться реализуется опосредованно, вследствие стремления организма избавиться от раздражающих ощущений, вызываемых физиологическими процессами в организме. Механизм размножения у простейших животных представляет собой дискомфорт от переполненности организма средствами размножения, так что даже простейший организм пытается избавиться от ощущения дискомфорта, от раздражителя, до тех пор, пока не избавится от этого раздражителя с естественным образованием условного рефлекса – запоминанием способа избегания раздражителя-дискомфорта.

Высшие животные пытаются вуалировать это состояние и облачают это стремление в изящные формы. На этом, можно сказать, строится вся культура нашей цивилизации. Соответствующее освещение у человека получает не только материальная сторона, но и психологическая – возможность повысить свой статус не только на рассказах о «победах», но и на чисто платонических чувствах.

По мере усложнения и обобществления жизни стремление организмов к размножению реализуется уже через примитивную силовую конкуренцию, а потом и через приукрашенную конкуренцию, включающую в себя реализацию высоких ценностей. Так что жизненно важные стремления к выживанию являются внешними проявлениями самых глубоких, первичных связей между нейронами, обусловленных генетически, по происхождению, а не по обстоятельствам. Непосредственно к ним примыкает совокупность рефлексов, направленных на размножение, продолжение рода. А уже все остальные черты индивидов, присущие организмам, обладающим перечисленными чертами, присоединяются, прививаются к этим основополагающим чертам. Такая структура нервной системы даёт организму шанс на выживание и продолжение своей линии в будущее, но ещё не гарантирует этого.

И это базовое положение должно проявляться и в процессе компьютерного моделирования эволюции групп организмов – те

компьютерные «организмы», в которых не сложатся такие связи, очень быстро прервут свою «линию жизни».

РОЖДЕНИЕ РЕБЁНКА. Ребёнок начинает развиваться психически, т.е. умственно, задолго до своего рождения, до выхода из материнского лоно в окружающий, не всегда приветливый мир. Связи между нейронами образуются сначала в совершенно чистом мозге ребёнка (и во всех частях зародившегося организма). Потом во всей НС и в мозге со своей ещё короткой дородовой историей (с пока ещё малым количеством уже образовавшихся связей). Возможно, уже через 2 месяца после зачатия, более чем за полгода до своего рождения, ребёнок начинает воспринимать окружающий мир, пока через звуки, осязание, ускорения, через кровь матери – химию своего питания. Этот вывод следует из того факта, что уже для первых ударов сердца ребёнка необходима работа его нервной системы. Тем более она необходима для того, чтобы маленький человек в утробе матери сделал первое движение рукой или ногой. То же самое касается и ещё не вылупившегося птенца в яйце.

Понятно, что одно дело, если ещё неродившийся ребёнок вместе с матерью слушает и наслаждается божественной музыкой, слышит приветливые голоса отца и матери. И совсем другое, когда его травят алкоголем из крови матери и тем самым готовят предрасположенность ребёнка к алкогольной зависимости. А заслышав пьяную ругань, он внутри матери убегает от побоев, забивается в угол и замирает, дрожа от страха, вслед за матерью и вместе с ней. И все это в период бурного предродового формирования нервной системы, когда формируются образцы-шаблоны для последующего восприятия мира и поведения в нём. Тут никакой набор генов не защитит ещё не родившегося ребёнка от вредного влияния.

Видим, что рождается человек уже не как кусок глупого мяса с совершенно чистым мозгом или только с безусловными рефлексам. Он рождается достаточно развитым, маленьким, слабым, ещё очень мало знающим, но уже частично сформировавшимся человеком, с частично сложившимся фундаментом личности. Так что нельзя сказать, что при рождении ребёнка включается рубильник и начинается процесс формирования личности. Этот рубильник-включатель постепенно, незаметно включился ещё месяцев шесть-семь назад. Поэтому рождение ребёнка заключается не во включении рубильника («жизнь началась»), а в смене места

жительства ребёнка, окружающей обстановки и образа жизни. Даже у бабочки, чей организм при превращениях из гусеницы в куколку, из куколочки в бабочку радикально изменяется, сохраняется память о событиях до превращений, в бытность её гусеницей [13, 14]. Поэтому воспитанием ребёнка нужно начинать заниматься задолго до его рождения, можно сказать, сразу же после зачатия.

Так что суррогатная мать, вынашивающая генетически чужого ребёнка, вполне может воспитать в нём черты, называемые сегодня врождёнными, но совсем не свойственные генетическим родителям ребёнка. Хотя традиционно эти «врождённые» черты характера относят к разряду наследуемых генетически. Поскольку суррогатных матерей уже достаточно много, то наше утверждение может быть проверено статистикой.

Если человек попадает в благоприятную для развития среду, он успешно развивается. Если же ребёнок не попадает в такую среду, то он уже не сможет реализоваться как полноценная личность. Так, младенцы, попадая в животную стаю («Маугли»), получают почти в самом внутреннем слое, в фундаменте своей личности отношения и знания, присущие приютившей его стае. Поэтому в последующем ни при каких обстоятельствах дети-Маугли уже не смогут стать такими, как другие люди, так как невозможно полностью заменить фундамент и «первые этажи» психики (образовавшиеся в самом начале строительства психики ребёнка) даже при очень активном вмешательстве психиатров. Не смогут Маугли стать и точно такими, как другие члены стаи, поскольку они физиологически другие. Хотя вполне могут стать даже вожаками этой стаи. Точно так же дикие животные, выросшие с самого детства до взрослого состояния в человеческой среде, научились успешно жить именно в той среде, можно сказать, в тепличных условиях. И поэтому вряд ли смогут выжить в естественной для этого вида достаточно суровой среде.

На этих примерах мы видим, что даже **в самом основании** человеческой психики, наряду с генетически обусловленными связями, обусловленными происхождением организма, структурой исходной клетки, из которой произошёл организм, лежат связи, порождённые влиянием структур внешнего мира, т.е. являющиеся следом, отражением окружающих обстоятельств, в том числе и родовых.

Так что развивать личность нужно как можно раньше, ещё задолго до рождения. При этом необходимо уделить внимание и режиму питания, особенно в самом начале формирования личности. Правильное питание, доставляющее ребёнку в материнской утробе все необходимые вещества, будет способствовать, облегчать прокладывание генетически обусловленных связей между различными нейронами и создавать фундамент для будущего развития различных способностей за счёт создания разветвленной нейронной сети в среде плотно упакованных, но логически пока ещё слабо связанных между собой нейронов.

КРИТЕРИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НС. ФУНДАМЕНТ МОТИВОВ. Появление в организмах зачатков нервной системы и её последующее развитие произошли потому, что нервная система способствовала выживанию (и последующей экспансии) путём уклонения от опасностей в результате реакции на простые раздражители. Нервная система осуществляет реакцию на раздражения. Есть раздражение – есть реакция. Нет раздражения – нет реакции. Нервная система пребывает в ожидании сигналов раздражения, которые приходят в НС только извне, из окружающей среды через рецепторы. При отсутствии раздражений НС и вместе с ней организм остаются в состоянии покоя. При этом внутри организма идут какие-то физиологические процессы, внешние по отношению к НС, в результате которых внутри организма (но вне НС!) возникают раздражения (скажем, голод или переполнение мочевого пузыря). В результате складывается такое положение вещей, что НС стремится к минимизации раздражений, как внешних от воздействия среды на организм, так и внутренних из организма, но внешних для НС. Как текущих, так и прогнозируемых в будущем, возникающих вследствие многозвенного прогнозирования, поскольку нейроны возбуждаются, не различая, откуда приходят возбуждающие их сигналы – непосредственно от рецепторов, или от других нейронов, находящихся очень далеко от начала пути сигнала. У них просто нет механизма отслеживания источников сигналов, поступающих на их входные дендриты. В итоге получается, что критерием функционирования НС является минимизация раздражений.

Поэтому в результате многоступенчатого прогнозирования движение сигналов по НС, изначально порождённое, скажем, внутренними для организма первыми признаками голода, или какие-

то слова (для человека) приводят к стремлению НС, управляющей организмом, заранее обучиться, чтобы в будущем потери организма (раздражения НС) были минимизированы. Это стремление совсем необязательно должно быть осознано. Но оно действует. Поэтому детёныши животных активно играют, получая навыки будущего добывания пищи и противостояния конкурентам и врагам. Это игровое обучение корректируется, направляется и организовывается более опытными членами сообщества, поскольку и они будут в выигрыше от этого приобретения навыков другими членами сообщества, в том числе детьми. Возникают различные системы обучения, уровень которых зависит от уровня развития сообщества. Особенно далеко в обучении продвинулись люди со своими школами разного уровня и хранилищами знаний в виде книг, библиотек, архивов, Интернета и т.д.

С другой стороны, минимизация сигналов раздражения сейчас и в будущем идёт по пути увеличения результативности усилий индивида в условиях ограничений, накладываемых на возможное поведение сложившимися рефлексам, как безусловными, так и условными. У членов сообществ эти ограничения складываются в систему ценностей, которой и руководствуются члены сообщества. Хотя у разных членов сообщества системы ценностей достаточно индивидуальны. Увеличение результативности идёт как по пути координации действий всего сообщества с завоеванием индивидуумом места в иерархической системе осуществления совместных действий (с отношениями взаимодействия и соподчинения), так и по пути создания различных технических устройств, способных усилить действия организма (рычаги, лопаты, подъёмные механизмы, лодки, корабли, трактора и шагающие экскаваторы). И в сообществах складываются (и создаются целенаправленно) условия, которые позволяют члену сообщества обеспечить своё благополучие не материальными действиями, а управляя другими членами сообщества, находясь при этом на разных ступенях системы управления: от вождя до его помощников и посыльных, размещающихся на самых низких уровнях. Складываются сложные иерархические системы, в которых члены сообщества стараются получить для себя более выгодное место, позволяющее получать максимальные результаты при минимальных затратах. И мы получаем современное человеческое сообщество с его достоинствами и недостатками, достижениями и противоречиями.

Всё, о чём мы только что говорили, лежит в неконтролируемой основе нервной системы. В том числе и НС человека. Независимо от того, хочет он этого или нет. И эта основа, изменённая, скорректированная системой ценностей, надстроенной над основой и представлениями о путях достижения той или иной конкретной цели данного индивида, определяет поведение человека на всём широком спектре отношений между людьми, будь это стяжательское накопление богатств с обманом и мародёрством, сравнительно честное создание богатств не в ущерб другим людям и совместно с ними или высокое служение другим людям, близким и далёким, в соответствии со своей сложившейся в самом человеке системе ценностей и его представлениями о допустимости поведения по отношению к другим членам сообщества. Человек стремится к расширению своей власти над окружающей обстановкой в соответствии со своей системой ценностей – это обеспечивает максимум результатов при минимуме затрат, при минимуме раздражений его индивидуальной НС. Стремится, грубо говоря, к тому, чтобы шевельнул мизинцем, и все желания исполнились с учётом ограничений, налагаемых системой ценностей. Примерно в этой же области лежит стремление неразвитых, примитивных личностей (часто подростков) к разрушительным действиям и насилию – своими малыми усилиями существенно изменил среду – разбил окно, повалил забор.

Если для естественных существ критерии функционирования НС (мозга) сложились в ходе эволюции естественным образом, сами по себе, то для создания технических самообучающихся устройств, функционирующих подобно биологическому мозгу, необходимо задаться неким критерием, оптимизация которого должна достигаться в результате функционирования этого устройства. Этот критерий, как и для естественных существ, складывается автоматически – устройство должно уклоняться от раздражений. И от прямых, истоков раздражений-рецепторов, и от опосредованных, спрогнозированных уже сложившимися структурами (на основе каких-то исходных раздражений). Критерий минимизации раздражений складывается автоматически, исходя из принципа функционирования в режиме реакции: есть раздражители – есть реакция; нет раздражителей – нет реакции.

ЦЕННОСТЬ ОТНОШЕНИЙ С ВЛИЯТЕЛЬНЫМИ ЛЮДЬМИ.
Используя отношения с влиятельными людьми сейчас или потенциально в будущем, можно рассчитывать на БОльшую результатив-

ность своих действий при меньших затратах. Эти отношения ценны сами по себе (имеется в виду непосредственное использование этих отношений). Но чаще всего эти отношения используются не прямо, а просто афишируются с целью их опосредованного использования как неявного объявления о своей значительности. То есть отношения с влиятельными людьми неявно обеспечивают возможности индивида за счёт повышения общественного статуса индивида. Сказанное может касаться не только отношений с влиятельными государственными, политическими, финансовыми, силовыми или спортивными лицами. К числу влиятельных лиц можно отнести различных публичных людей, скажем, людей искусства, поскольку они могут способствовать усилению позиций индивида, повышению его места на иерархической лестнице – кто кому подчиняется, кто выше на соседних лестницах. Явному или неявному повышению статуса индивида может способствовать отношение с вожаком (можно просто находиться около него хоть на молодёжной тусовке, хоть в обезьяньей стае). Этому же может способствовать даже отношение с красивыми мужчинами или женщинами по следующей схеме: если он обладает какой-то красотой или влияет на неё, значит, он несколько выше тех, которые не могут на неё влиять.

ИНСТИНКТЫ. Инстинкты представляют собой большие сложные поведенческие комплексы, представляющие собой множества взаимосвязанных условных рефлексов, построенных (надстроенных) над сравнительно небольшим количеством безусловных рефлексов, имевшихся ещё до рождения. А сами инстинкты являются не врождёнными, а сложными комплексами поведения, полученными организмами в результате их жизненного опыта. Эти комплексы обеспечивают автоматическую реакцию организма в соответствующих обстоятельствах. Автоматическую в том смысле, что реакция уже определена предыдущим опытом, так что мозгу не надо решать задачу выбора линии поведения организма. Она формируется автоматически – мыслящим не надо задумываться. Покажем это на примере наиболее известных инстинктов, хотя инстинктов можно насчитать великое множество. Но мы поговорим о наиболее важных инстинктах, известных всем.

САМОСОХРАНЕНИЕ. Казалось бы, уж этот-то инстинкт совершенно точно является генетически предопределённым. Но, как мы уже говорили, в исходной яйцеклетке нет места для описания

поведения организма сверх информации о правилах самокопирования клетки. Благодаря самовозбуждениям нейронов в нервных тканях в ранний период развития организма образуются генетически предопределённые через топографическое расположение ещё не связанных между собой нейронов безусловные рефлексы, обеспечивающие реакцию организма лишь на простейшие раздражители. А уже на основе безусловных образуются в ходе жизни более сложные и динамически изменяющиеся условные рефлексы. Но для образования сложных рефлексов-знаний, обеспечивающих самосохранение, организму уже нужен жизненный опыт. Именно из-за отсутствия опыта малые дети по недосмотру воспитателей выпадают из окон. Они просто пока не знают, что выглядывание из окна опасно. У них ещё не сложился в полной мере инстинкт самосохранения – недостаточно опыта. По этой же причине отсутствия опыта дети могут сунуть руку, ногу в опасные места, лизнуть железные полозья саней на морозе и т.д. С другой стороны, разумные животные для сохранения своей жизни могут перегрызть собственную лапу, попавшую в капкан. Так велит им полученный опыт.

МАТЕРИНСТВО. Очень часто говорят об инстинкте материнства. Он тоже складывается на основе опыта. В подтверждение этих слов можно сказать следующее: в последние годы участились случаи, когда в зоопарках хищные матери (тигрицы, медведицы) поедают своих только что родившихся детёнышей. Причём происходит это с теми зверями, которые были рождены в неволе и по каким-то причинам их выкармливали не их родительницы, а работники зоопарков. Поэтому в своём детстве хищницы не получили опыта материнства, направленного на них. И потому просто не знали, что нужно делать со своим потомством. Так что детей необходимо обучать в первую очередь своим примером не только арифметике или охоте на козулю, но и материнству. Ну, а в зоопарках у хищниц, не обученных материнству, стали сразу же забирать только что родившееся потомство.

ПРОДОЛЖЕНИЕ РОДА. Этот инстинкт не менее сложен, чем инстинкт материнства, поскольку включает в себя инстинкт материнства как составную часть. А начинается этот инстинкт с тяги к размножению, в основе которой лежит раздражитель – физиологический дискомфорт (болезненное состояние при

длительном отсутствии семяизвержения у самцов и соответствующее проявление у самок). Дискомфорт периодически обостряется в соответствии с ритмами жизни популяции организмов, в зависимости от сезонов времени года или от приливов для прибрежных морских животных. Эволюционно сложившийся путь устранения этого дискомфорта изначально состоит в попытках избавления от раздражителя до тех пор, пока организм не найдёт путь избавления от дискомфорта через случайно нащупанный процесс копуляции (спаривания) разнополых особей. Высокоразвитые животные из-за сложности их жизненного пути перенимают опыт уклонения от дискомфорта через акт копуляции от других членов сообщества. При этом между членами сообщества возникает конкуренция различного уровня за право обладания ресурсом уклонения от дискомфорта. На низшем уровне конкурирующие особи просто отталкивают друг друга от средства успокоения. Но по мере развития физиологии, возможностей, «разумности» животных эта конкуренция превращается в бой с помощью рогов и зубов. А потом и с палками, шпагами, пистолетами, цветами и куплетами, деньгами, автомобилями и другими моральными и материальными благами. Этот акт обрастает различными условными рефлексам, красивыми и убедительными ритуалами ухаживаний, подтверждающими готовность животных к совместному выкармливанию и защите потомства. Более того, из-за важности тяги к размножению если не будет тяги к размножению, то не будет и продолжения жизни этих индивидуумов в виде потомства, эта сторона жизни всячески приукрашивается, романтизируется, совершаются подвиги и пишутся романы. Из-за неё происходят различные драмы и даже трагедии. Ей посвящаются так или иначе все произведения человеческих искусств. Да и вся жизнь вращается вокруг этой тяги.

Но в физиологическом основании инстинкта размножения лежит всё же ощущение дискомфорта, которое и позволяет размножаться низшим животным. По мере усложнения жизни животных, их перехода к общественной жизни, можно сказать, все большее значение приобретает обучение через наблюдаемую практику, поведение других членов сообщества. В подтверждение можно привести такой факт из жизни зоопарков. Во многих зоопарках в настоящее время живут животные, выросшие вне природного

сообщества своих биологических сородичей, поэтому у них отсутствует большое количество знаний, необходимых даже для продолжения существования своей популяции. Мы уже приводили пример отсутствия инстинкта материнства у хищников, выросших в отрыве от своих биологических матерей. То же самое касается и инстинкта продолжения рода. Так, в одном из зоопарков образовалась пара гигантских панд. Они были дружны и как будто не против продолжения рода. Но они просто не знали, как это делается! Тогда работники зоопарка начали показывать паре видео секса другой пары панд, живущих в дикой природе. Такое обучение имело успех, и через положенное время у неопытной пары панд появилось потомство [18].

ЛИЧНОСТЬ ЕСТЬ ОТРАЖЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕГО МИРА. В структурах своего сознания даже, казалось бы, чисто физиологическая сторона нашего организма – рост человека – достаточно сильно зависит от условий, в которых существует организм. Так, после Второй мировой войны, за 20 лет более сытой жизни рост молодых японцев увеличился в среднем на целых 14 сантиметров [8]!

А что уже говорить о сознании – отражении всей окружающей действительности и давней, и нынешней? Это отражение подобно фотографии: снимок больше зависит от отображаемого объекта, чем от структуры материала, на котором он фиксируется. Хотя, конечно же, есть зависимость качества отображения и от фиксирующего материала, и от оптической системы, преобразующей, проецирующей, интерпретирующей информацию о мире перед её фиксацией как на фотопластинке, так и в мозге человека. Если мы воспринимаем мир через призму корейца, то мы и говорим по-корейски, и собачатину любим. Если же мы воспринимаем этот же мир через украинскую призму, то говорим по-украински и любим борщ и сало. Но даже среди любителей сала, в зависимости от особенностей своей местной или личной психологической призмы, одни болеют за одну футбольную команду, а другие – за другую.

В связи с тем, что в основе личности лежат безусловные рефлексy, следует утверждение: «МУЖЧИНЫ И ЖЕНЩИНЫ – РАЗНЫЕ СУЩЕСТВА». По той причине, что изначально имеют несколько РАЗЛИЧАЮЩЕЕСЯ строение тела и связанные с этими различиями тел несколько различающиеся наборы рецепторов и

генерируемых ими ощущений. Потому и отличаются безусловные рефлексy, с которыми появляются на свет мальчики и девочки. На основе их безусловных рефлексов, текущих ощущений и окружающей жизни начинают складываться условные рефлексy, реакции на различные события, начинает и продолжает строиться всю жизнь психика мужчины и женщины.

ПУТЬ МЫСЛИ И СВОБОДА ВОЛИ. Если у нас будет некая мысль с возможным разветвлением, то мы пойдём по одной из множества возможных веточек. А потом, если захотим, мы можем и вернуться к этому разветвлению. Но почему из многих вариантов мы выбираем один, именно этот вариант? Говорят, что по своей воле. Но как эта наша воля сформировалась? Почему при разветвлении возбудился именно «правый» нейрон, а не «левый»? При обсуждении этого вопроса в наших терминах очевидно, что сумма стимулов у «правого» нейрона была несколько больше. То есть, во-первых, конфигурация сигналов, пришедших к этим нейронам, была такой, что наибольшие шансы при данной конфигурации сигналов были именно у этих двух нейронов. Во-вторых, благодаря тому, что веса входных связей у «правого» нейрона были несколько выше, суммарный потенциал на его входе достиг порога возбуждения несколько раньше, чем у «левого». Поэтому «правый» нейрон возбудился несколько раньше «левого» и тем самым помешал возбудиться «левому», выдав при возбуждении на свой вход сигнал обратного знака, частично компенсировавший возбуждающие сигналы. Если же мысль вернулась к точке ветвления, то опять же очевидно, что нас к этому побудили обстоятельства, преобразованные во входные сигналы, плюс уже сложившаяся к этому времени структура нашего мозга. И то и другое мы не в состоянии проконтролировать с бесконечной точностью, подобно тому, как невозможно бесконечно точно одновременно измерить координату и импульс квантовой частицы. Их можно измерить только с точностью до кванта действия \hbar . Точно так же и состояние **самоисследующегося** мозга можно определить в лучшем случае лишь с точностью до одной связи, да и то только в принципе, а не практически. Так что мы видим, что наша якобы ничем не обусловленная «свобода воли» на самом деле представляет собой лишь конкретную реализацию случая, выражающуюся в том числе и в структуре нашего мозга, складывавшейся всю предыдущую жизнь, которую мы не в состоянии проследить до всех самых отдаленных

истоков этого случая. И, не видя всех, в том числе и малозначительных, составляющих мысли, мы начинаем говорить о безусловности этой мысли, о свободе нашей воли. Хотя на самом деле наша мысль, наша «воля» формируются огромным, необозримым количеством факторов. Их, этих независимых факторов, очень много: $1.5 \cdot 10^{14}$ связей между нейронами, всевозможные конфигурации входных сигналов, всевозможные пути к текущему состоянию мозга, веса всех связей между нейронами, состояние порогов чувствительности всех нейронов как функция от предыдущих состояний и случайных внешних факторов. Понятно, что учесть все это не только практически, но даже и принципиально мы не в состоянии. А из-за принципиальной невозможности учёта всех случайных факторов и связей в собственном или в чьем-то мозге мы в принципе не можем абсолютно точно предвычислить движение собственной или чьей-то мысли.

То, что произвольность, безусловность нашей мысли внешними факторами является только кажущейся, может быть проиллюстрировано следующим примером. Граждане США и России без всякого видимого влияния извне, в полном соответствии со своей якобы совершенно свободной волей совершенно поразному относятся к одному и тому же событию или факту. Например, к продаже Россией Аляски или к бомбежке США Югославии, или к выбору любимого литературного героя. В рассматриваемом примере очевидно, что отношение к различным событиям различных субъектов (граждан России и США) обусловлено воспитанием в широком смысле этого слова с учётом традиций и т.д. Очевидно, что структуры в мозге субъектов формируются, в том числе, и даже в первую очередь, информацией, предоставляемой субъектам через разные СМИ. А о свободе воли говорят лишь тогда, когда речь идёт о каких-то не очень контролируемых взглядах субъектов и воздействии на них неконтролируемых внешних обстоятельств.

Так что свобода воли на самом деле есть сугубо индивидуальный опыт личности плюс случайные факторы вместе с принципиальной невозможностью отслеживания всех без исключения факторов, формирующих нашу мысль. Поэтому и не может быть спрогнозирована реакция человека с бесконечной точностью. А возникающую из-за этого неопределённость и называют свободой воли.

НЕВОЗМОЖНОСТЬ КЛОНИРОВАНИЯ ЛИЧНОСТИ

Мы увидели, что человеческая личность материализована на огромном количестве связей между нейронами. Можно ли каким-либо образом составить таблицу этих 10^{14} связей с целью их дублирования? Практически такое количество связей невозможно отсканировать или вычислить каким-либо образом за сколько-нибудь приемлемое время никакими фантастическими техническими средствами. Для статического случая, т.е. для неизменной конфигурации связей с постоянными характеристиками, задача определения всех связей между элементами мозга и вычисления их весов по откликам выходов на комбинации входных сигналов, в принципе, ещё может быть решена, но с неприемлемо большими затратами времени. Однако для живого мозга с его динамичными порогами возбуждения для каждого нейрона и быстро изменяющимися по ходу жизни связями такое вычисление невозможно в принципе.

В свете сказанного выше совершенно ясно, что нет никакого смысла в клонировании даже самых выдающихся, всем известных людей. Потому что максимальным результатом клонирования человека может быть создание почти идентичного дубля физической оболочки человека, но не дублей и оболочки, и её информационного наполнения. То есть **полное дублирование личности невозможно**. Поясним наше утверждение.

Во-первых, невозможно идентичное повторение дублируемого организма даже в чисто физиологическом аспекте. Так, однойцовые близнецы, имеющие одну и ту же общую исходную материнскую яйцеклетку и развивающиеся, казалось бы, в одних и тех же условиях, уже сразу после рождения имеют достаточно большие внешние различия – разные отпечатки пальцев, разную сеть кровеносных сосудов. Понятно, что и внутренняя структура их

тел, в том числе и нейронных цепочек, различается. Все эти отличия близнецов обусловлены тем, что условия формирования их тел все-таки слегка различались – с самого начала один находился «слева», а другой – «справа».

Но главное состоит в том, что даже совершенно одинаковая, идентичная физиологическая структура тела – носителя личности – никак не может обеспечить полной идентичности повторяемой и повторяющей личностей. Повторение физиологической оболочки эквивалентно повторению аппаратной части компьютера. Как говорят о компьютерах – у них одинаково лишь «железо». Тогда как личность человека представляется скорее программным обеспечением, функционирующим, возможно, на захудалом «железе» с его низкими скоростными и объёмными характеристиками. Это конкретное программное обеспечение на разных экземплярах даже аппаратно идентичных компьютеров практически всегда различается, начиная от драйверов внешних устройств – аналогов управляющих и проводящих цепей рецепторов и исполнительных механизмов организмов (мышцы) и заканчивая прикладными программами самой высокой сложности и надёжности – от разных игрушек до АСУ атомных электростанций.

Причём даже достаточно легко контролируемое программное наполнение в конце концов на каждом компьютере становится сугубо индивидуальным. Оно уникально! Обратим внимание на информационный объём человеческого мозга как носителя личности и скорость его заполнения через следующие входные каналы.

1–5. Пять общепринятых чувств: зрение, слух, обоняние, осязание, вкус.

6. Чувство голода.

7. Чувство боли внутри и снаружи.

8. Чувство равновесия.

9. Чувство координации (с закрытыми глазами мы легко дотрагиваемся до носа).

10. Зачатки или рудименты электрических органов, как у рыб.

11. Другие неизвестные, пока неосознаваемые каналы приёма информации о мире (речь не о телепатии).

Вся воспринимаемая нами информация об окружающем мире и о себе поступает в мозг с огромной скоростью, *в среднем* в десятки и сотни килобайт в секунду, как было показано в главе

«Информационная ёмкость мозга человека». Эта информация поступает разными путями, которые в полном объёме практически невозможно проконтролировать. Она непрерывно формирует в мозге все новые связи со скоростью порядка 30 000 новых связей в секунду, существенно влияющие на дальнейшее формирование новых связей. По существу, сложившаяся к данному моменту структура мозга представляет собой фильтр, через который в него же (в мозг) поступает всё новая информация.

После этих замечаний можно с полной уверенностью сказать, что даже для идентичных физиологических оболочек невозможно создать идентичные внешние условия, которые вместе с идентичностью оболочек смогли бы сформировать сотни тысяч миллиардов связей, идентичных связям в повторяемом человеческом мозге.

Так что повторить в полной мере человеческую личность невозможно. Тем более что некоторая часть связей между нейронами образуется чисто случайно, под влиянием совершенно неконтролируемых факторов, начиная от попадания в мозг ионизирующих излучений и кончая различными неоднородностями, например, создаваемыми принимаемой пищей или под влиянием случайных событий – муха укусила, или вспыхнула сверхновая звезда. Далее это минимальное отличие мультипликативно разрастается.

Личность представляет собой совокупность индивидуального опыта, знаний, способностей к анализу и синтезу, системы жизненных ценностей, эмоций и, наконец, рефлексов, как условных, так и безусловных. И повторить её даже в генетически и физиологически идентичной оболочке невозможно.

Другое дело, если мы говорим о воссоздании простейшего, примитивного индивида с какой-то совсем не абсолютной точностью. Для этого нужно:

- 1) с максимальной точностью воссоздать физиологическую оболочку – аналог компьютерного «железа»;

- 2) с максимальной точностью воссоздать все обстоятельства развития повторяемого, дублируемого индивида. Для того чтобы обеспечить образование хотя бы подобных связей между нейронами повторяющей, дублирующей личности, придётся обеспечить идентичность условий, начиная с режима питания и кончая каждым

услышанным звуком. Причём условия, события, должны происходить в один и тот же момент (относительно Солнца и Луны и даже планет и сверхновых звезд – вдруг воспитанник станет астрономом!).

Даже для создания, воспитания примитивной личности нужны огромные затраты времени и труда. Так что нет особого смысла бояться клонирования личностей – идентичный дубль личности невозможен.

Из приведённых соображений видим также, что воспитанием человека нужно начинать заниматься ещё задолго до его рождения. И нет никакого смысла перекладывать ответственность за ненадлежащее воспитание на гены. Конечно, наследственность на генном уровне тоже сказывается на развитии личности, но не со стороны наклонностей формирующейся личности, а опосредованно, со стороны скорости и легкости восприятия, возбудимости, порога срабатывания нейронов, физического здоровья. Когда на одного человека некий фактор ещё не действует, другой человек уже возбудился, «завёлся». Одному человеку необходимы постоянные внешние раздражители, иначе его одолевает сонливость, вялость, а другому достаточно малейшего внешнего толчка, чтобы его мысль уже «понеслась вскачь» без остановок до полного изнеможения. На развитие человека влияет даже его питание. Некоторые вещества могут способствовать избыточной «заряженности» нейронов мозга, что будет способствовать активному первоначальному прокладыванию новых связей между нейронами. Это особенно важно на самых ранних стадиях формирования организма и личности.

Кроме того, возможны потенциально бОльшие способности человека к какой-то определённой деятельности, если на данном участке мозга, где достаточно случайно «поселилась», скажем, математика, нейроны имеют бОльшую разветвленность. Способности можно развивать, постоянно задействуя данную область мозга. Нужная загрузка, активация нейронов вызывает существенное увеличение как количества реализованных и потенциальных связей между нейронами, расположенными именно в этой области мозга, так и количества связей нейронов из данной области с нейронами из других участков мозга. Эта загрузка приведет также к увеличению объёма, к пространственному расширению области мозга, «населенной» математическими

понятиями. Увеличение объёма данной зоны подобно смещению зоны зрения у котят с удалённой зоной мозга, обычно ответственной за зрение у кошек. Все это и составит развитие способностей к восприятию внешних обстоятельств и математических соотношений, отражающихся преимущественно в данном участке мозга.

Для развития способностей нужно давать детям максимальную свободу в их познавательной деятельности и расширять круг их чувственного опыта, начиная с самого рождения и даже до рождения. Это будет способствовать созданию максимального количества взаимосвязей между различными образами одного и того же явления. Например, звук колокольчика, его яркие цвета, ощущения его тяжести, прикосновения и каков он на вкус создают цельный синтетический образ явления в младенческом, наиболее продуктивном возрасте. В это время нервная система ребёнка наиболее пластична, восприимчива и, можно сказать, гениальна – в возрасте одного года ребёнок уже понимает китайский, русский или английский язык, хотя начинает с абсолютного нуля, стартуя за несколько месяцев до своего рождения! Такое глубокое проникновение во все особенности жизни и в язык неведомой для младенца цивилизации за такое короткое время недоступно даже подготовленным специалистам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Если первое издание предлагало к рассмотрению, в основном, вопросы, то во втором уже есть и подтверждённые ответы: патент, компьютерная модель, результаты НИР с созданием электронной модели, аналогичной компьютерной.

Основной результат данной работы: показано, что след события в виде **парных связей, образовавшихся** между нейронами, возбуждёнными в один и тот же промежуток времени, **обеспечивает впоследствии опережающую реакцию** организма на последовательности событий внешнего мира в результате автоматического прогнозирования на основе оставшихся следов. Такое **опережение («предвидение»)** **обеспечивает** более успешное **выживание** и экспансию обладателей нервной системы за счёт уклонения от наступающих, но ещё не успевших наступить опасностей. Обсуждены некоторые черты совершенно локального механизма, обеспечивающего выполнение этих функций. Главные из этих черт таковы:

– нейрон возбуждается при уровне суммарного сигнала на его входе выше некоторого порога. Сигнал ниже порога – невоспринимаемый шум. При возбуждении нейрона энергия, запасённая в нём в виде питательных веществ (доступная для нейрона), используется:

– для усиления, продвижения сигнала дальше по структурам мозга,

– для образования следов произошедших событий в виде парных связей между возбуждёнными нейронами. Существующие (образованные ранее) связи совместно с механизмом их образования впоследствии определяют пути прохождения сигналов по мозгу. То есть обеспечивают адекватную реакцию организма на события,

закрывающуюся в уклонении от опасностей, подобных случившимся ранее, благодаря оставленным ими следам.

Все остальные черты функционирования мозга основаны на этих главных чертах.

В работе показано, что создание полностью контролируемого или прослеживаемого вплоть до последней связи между нейронами искусственного интеллекта (ИИ) невозможно в том смысле, что невозможно знать об информационном наполнении этого интеллекта абсолютно всё уже потому, что состояние самого ИИ непрерывно изменяется с большой скоростью. Даже очередной взгляд на совершенно чистое небо отличается от предыдущих взглядов на то же самое небо. Еще больше и быстрее меняется информационное содержимое мозга при восприятии потока речи или видеоряда. По поводу сверхточного контроля состояния мозга можно даже провести аналогию с квантовой механикой. Можно сказать, что текущее состояние мозга может быть измерено или представлено лишь с предельно возможной точностью до одной связи между нейронами – своеобразного кванта действия для мозга, аналога \hbar в квантовой механике.

Если же не требовать абсолютно полного контроля над состоянием этого ИИ, то создание такого ИИ принципиально вполне возможно. Может быть, даже на том же пути, который мы предлагаем для построения искусственного мозга. Другое дело, что проконтролировать информационное содержание такого интеллекта, содержащего порядка 10^{14} связей, представляется нереальным. Даже если устанавливать по одному миллиону связей в секунду, для наполнения такого интеллекта понадобится около трех лет. Тем более что действующий ИИ сам непрерывно изменяет своё информационное наполнение. Видим, что при наличии даже приблизительной оценки информационной ёмкости мозга человека становятся понятными и даже очевидными принципиальные трудности создания искусственного интеллекта путём проектирования и установления **всех** логических связей в носителе интеллекта. Здесь имеется в виду полномасштабный ИИ, способный конкурировать с человеческим интеллектом, материализованным на десятке миллиардов медленных, но зато параллельно действующих логических элементов – нейронов. Чтобы получить ИИ с заданными характеристиками на традиционных сегодня путях, нужно сначала

рассчитать, спроектировать сотни тысяч миллиардов логических межнейронных связей с их весами. Эта гигантская работа выльется в такое количество человеко-лет квалифицированного труда, что ресурсов всего человечества может не хватить для создания даже одного экземпляра ИИ с полностью спроектированными логическими связями. Перефразируя выражение знаменитого комментатора Н.Н. Озерова, можно сказать: «Такой ИИ нам не нужен».

Другое дело – интеллект, **воспитанный** на ином материальном носителе, чем наш биологический белковый мозг. То есть можно говорить о воспитании естественного интеллекта (ЕИ) в искусственном носителе интеллекта (ИНИ), в искусственном мозге (ИМ), который, без сомнений, может быть создан в соответствии с рассмотренными выше принципами работы мозга. А именно:

1. Мозг представляет собой огромное множество многовходовых логических элементов – нейронов. Нейроны возбуждаются, активизируются сигналами, поступающими на их входы, при превышении порога их чувствительности. Работают нейроны параллельно, асинхронно, достаточно независимо друг от друга и возбуждают друг друга через парные связи, так что сигнал может продвигаться по нейронным структурам, проходя путь от рецептора, реагирующего на внешние раздражители, до исполнительных механизмов, позволяющих уклоняться от раздражителей.

2. Межнейронные связи соединяют выход предыдущего нейрона с входом последующего. Связи самопроизвольно образуются между возбужденными в данный момент нейронами, находящимися в механическом контакте, посредством электрического пробоя (или логически эквивалентным способом).

3. Возбуждение нейрона длится некоторое конечное время. Поэтому и могут образоваться связи между нейронами – следы причинно-следственных связей, в которых фиксируется факт приблизительно одновременного возбуждения нейронов. На основе произошедшего образования связей между нейронами появляется способность «предвидеть» впоследствии наступление сопутствующего, как в прошлый раз, события и заранее уклоняться от него. Поэтому может иметь место опережающая реакция организма, хотя сопутствующее прошлый раз событие могло быть как до, так и

после данного события. В этой опережающей реакции и заключена полезность возникающей связи для организма, так как «предвидение», опережение порождает дополнительные шансы на выживание благодаря уклонению от опасности.

4. Логические веса связей, определяющие силу влияния нейронов друг на друга – их проводимости, со временем уменьшаются. Этим уменьшением обусловлено забывание и «торможение», происходящее в результате появления новых, более сильных конкурирующих связей в логически близких цепочках нейронов, возникающих наряду со старыми связями. Новые связи, как и существовавшие до того, ослабевают со временем. Забывание обеспечивает возможность переучивания – изменения поведения в изменяющихся условиях. Если забыл, но при привлечении дополнительных связей-ассоциаций вспомнил, то это значит, что связь не была утрачена безвозвратно, просто её вес стал слишком маленьким, её сопротивление увеличилось. Связь без употребления угасает.

5. Рассмотрен механизм обеспечения «единственности» мысли – внимания. То есть рассмотрен механизм, обеспечивающий «не взрывообразное», а почти одномерное, почти линейное, последовательное развитие, течение мысли с коэффициентом размножения сигналов не более 1. Этот механизм базируется на короткой отрицательной обратной связи – выход предыдущего, активизирующего нейрона «подсаживается», нейтрализуется входом первого же возбужденного нейрона последующей ступени. И возможность возбуждения других нейронов последующей ступени, кроме первого возбужденного, резко снижается. Этот же механизм обеспечивает и «торможение», переучивание при изменении последовательностей событий.

6. Рассмотрены возможности образования новых связей между нейронами в совершенно «чистом» мозге, возникновение и расширение, уточнение понятий, материализованных сначала на отдельных нейронах, а при развитии понятий, при расширении опыта – на группах нейронов.

7. Предложено объяснение механизма и функции сна: входные каскады мозга в результате их «разряженности», наступающей в процессе бодрствования вследствие затрат на возбуждения при

функционировании, перестают пропускать в мозг внешние сигналы обычного уровня. При этом падает активность и других нейронов, так как на часть их входов перестают поступать фоновые активизирующие сигналы от нейронов-соседей. Поскольку для внутренних нейронов мозга средний коэффициент размножения сигнала не больше единицы (иначе происходило бы самовозбуждение мозга), то течение мыслей в мозге, лишённом внешних раздражителей, затухает. Мозг погружается в полное спокойствие. Когда нейроны мозга восстановятся, а некоторые из них зарядятся даже излишне («перезарядятся»), то они могут самовозбудиться. Тогда по спящему мозгу начнет бродить правдоподобный сюжет – сон. Начинается сновидение. По мере восстановления работоспособности входных нейронов они начинают пропускать входные сигналы – мозг просыпается после отдыха, можно сказать, «по плану». При поступлении во время сна на вход мозга слишком сильных раздражителей они также смогут проникнуть в мозг даже через высокие во время сна пороги чувствительности входных нейронов, и мозг просыпается **вынужденно**, например, от яркого света или от громкого шума.

В работе предложен принцип образования логических парных связей между двумя возбуждёнными нейронами, а также эксперимент, который может подтвердить или опровергнуть утверждение о справедливости этого принципа образования межнейронных связей не только для искусственных, но и для естественных биологических нервных систем. Описан механизм формирования серий нервных импульсов при воздействии на нейроны продолжительных (мощных) сигналов-раздражителей.

Несомненно, специалисты по нейробиологии и близким к ней дисциплинам обнаружат в тексте нашей книги массу ошибок и противоречий, расхождений с существующими сегодня представлениями, и на этом основании могут учинить разгромную критику. Они могут сказать, что не освещено и то, и другое, и третье. В ответ на возможную критику приведём 3 положения:

1. Мы рассматриваем *логику* функционирования мозга, поэтому для нас нет необходимости в рассмотрении различных взаимопревращений потенциалов, проводящих сигналы по структурам мозга. Это, в первую очередь, электрические потенциалы, электрохимические, термодинамические, переходящие

друг в друга, где это необходимо для экономии ресурсов организма, а также в случаях, обусловленных эволюцией. К этим превращениям необходимо добавить и действие различных гормонов, производимых множеством желез внутренней секреции. Но все эти превращения могут быть замещены электрическими эквивалентами, поскольку на нас не давит необходимость жёсткой экономии ресурсов. Кроме того, для функционирования логики не имеет значения форма движения сигнала. Поэтому мы и рассматриваем движение сигналов в наиболее понятной и наиболее просто реализуемой форме – в виде электрических потенциалов.

2. Совсем не обязательно, что наши утверждения неверны по причине их несоответствия некоторым сегодняшним представлениям. Приведём исторический пример. Ещё сравнительно недавно Земля считалась плоской. Сейчас же, основываясь на человеческой практике, мы уже не считаем, а твёрдо знаем, что Земля круглая.

3. Компьютерная и электронная модели простейшей нервной системы, построенные нами в соответствии с изложенными принципами, показали действенность этих принципов. Так что предложенные нами принципы функционирования мозга получили подтверждение практикой.

Если удастся подтвердить выдвинутые принципы функционирования мозга в биологическом эксперименте, как это было описано, то будет ещё раз убедительно подтверждена правильность выдвинутых принципов. И это подтверждение откроет дорогу для их практического использования. Понимание принципов функционирования нашего мозга, позволяющих построить достаточно адекватную компьютерную или схемную модель мозга, может также помочь понять причины различных болезней – расстройств работы мозга человека и найти пути их преодоления. Так, например, из нашей модели мозга вытекает, что утрата способности к запоминанию новых событий связана с невозможностью или трудностью образования новых связей между нейронами. Возможно несколько причин такого нарушения: или стало слишком высоким напряжение пробоя, или стало недостаточным для пробоя выходное напряжение активных возбуждённых элементов, или стали слишком большими токи утечки через изолирующую оболочку нейронов, так что в результате утечек перестало достигаться нормальное напряжение пробоя. Вот и

перестали образовываться новые связи, хотя уже существующие старые связи-воспоминания при этом работают достаточно хорошо.

В книге сделана попытка понять, как работает наш человеческий мозг. По нашему мнению, принципы его работы очень просты, иначе он не смог бы образоваться в природе сам по себе. Из нашего изложения следует не только констатация простоты, элементарности принципов, в соответствии с которыми функционирует мозг, но и возможность уже при нынешнем уровне развития микроэлектроники в самом ближайшем будущем создать искусственный мозг, по мощности равный нашему естественному или даже превосходящий его. Описаны пути создания компьютерной (программной) и схемной (электронной) модели искусственного мозга. Однако наполнять интеллект и стимулами этот искусственный мозг придётся обычным методом – через воспитание, обучение. Так что рядом с человечеством вполне может вырасти высокоразвитая небелковая цивилизация, которая с высокой вероятностью может превзойти человечество. Станет ли она нашим конкурентом? Или даже врагом? Чтобы такого не случилось, необходимо, чтобы наши цивилизации не стали антагонистическими конкурентами за жизнеобеспечивающие ресурсы – пищевые, энергетические..., а, наоборот, имели бы общие цели в задачах выживания. И тогда эта цивилизация будет в симбиозе с нами, станет нашим помощником, соратником, другом!

ЛИТЕРАТУРА

1. Дирак П.А.М. Принципы квантовой механики: пер. с англ. 2-е изд. М.: Наука, 1979. 440 с.
2. Торгашев А. Голова процессора. <http://www.ogoniok.com/4908/17/> (15.03.2015).
3. Физиология человека <http://bibliotekar.ru/447/12.htm> (15.03.2015).
4. Проничев И.В. Лекции по физиологии центральной нервной системы / Биолого-химический факультет УдГУ. http://www.distedu.ru/edu4/p_2 (15.03.2015).
5. Барабаничиков В.А., Жегалло А.В. Методы регистрации движений глаз: теория и практика. http://psyedu.ru/files/articles/2304/pdf_version.pdf (15.03.2015).
6. Рост аксонов в развивающейся коре мозга млекопитающих. http://scorcher.ru/axiomatics/axiom_show.php?id=305 (15.03.2015)
7. Есаков С.А. Руководство к лабораторным занятиям по возрастной анатомии и физиологии. <http://www.distedu.ru/edu12/work13> (15.03.2015).
8. Миронов Б. Экономическая биология человека // Вопросы экономики. 2004, № 10. С. 141–150. <http://demoscope.ru/weekly/2007/0295/analit01.php> (15.03.2015).
9. Загнеткин В.Н. <http://www.rlocman.ru/shem/shem-cache.html?di=18720> (15.03.2015).
10. Психофизиология: учеб. для вузов / под ред. Ю.И. Александрова. СПб., 2003. 496 с. <http://galactic.org.ua/Homo/f.htm>, <http://galactic.org.ua/Homo/fl.2.htm> (15.03.2015).
11. Концепция коррекционной педагогики <http://xn--b1afrd4dr4a.xn--p1ai/nauka/avtorskie-stati/kontseptsiya-korreksionnoy-pedagogiki/> (15.03.2015).
12. Говорящие обезьяны... <http://nevsedoma.com.ua/index.php?newsid=22641> (15.03.2015).
13. Бабочки хранят воспоминания о своем детстве. Краткое изложение [14]. <http://molbiol.ru/index.php?can=3> (15.03.2015).
14. Retention of Memory through Metamorphosis: Can a Moth Remember What It Learned As a Caterpillar? Douglas J. Blackiston, Elena Silva Casey, Martha R. Weiss. <http://www.plosone.org/article/fetchArticle.action?articleURI=info:doi/10.1371/journal.pone.0001736> (15.03.2015).
15. Шумилов В.Н., Воронин В.Н., Соломонов В.И. Патент РФ № 2475843.
16. Боль. Материал из Википедии – свободной энциклопедии. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D1%8C> (15.03.2015).

17. *Пчелиный танец*. <http://24medok.ru/pchelinyj-tanec-video/> (15.03.2015).
18. *Самку панды заставили...* <http://from-ua.com/news/263622-samku-pandi-zastavili-zanyatsya-seksom-pokazav-ei-porno-video.html> (15.03.2015).
19. *Стивенс Ч.* Нейрон. <http://filosof.historic.ru/books/item/f00/s00/z0000823/st001.shtml> (15.03.2015).
20. *Нейрон*. Материал из Википедии – свободной энциклопедии <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BD> (15.03.2015).
21. *Разработка* электронных схем для создания действующей модели искусственного нейроподобного элемента: отчёт о научно-исследовательской работе (НИР) по договору № 9006 от 04.09.2014 г.

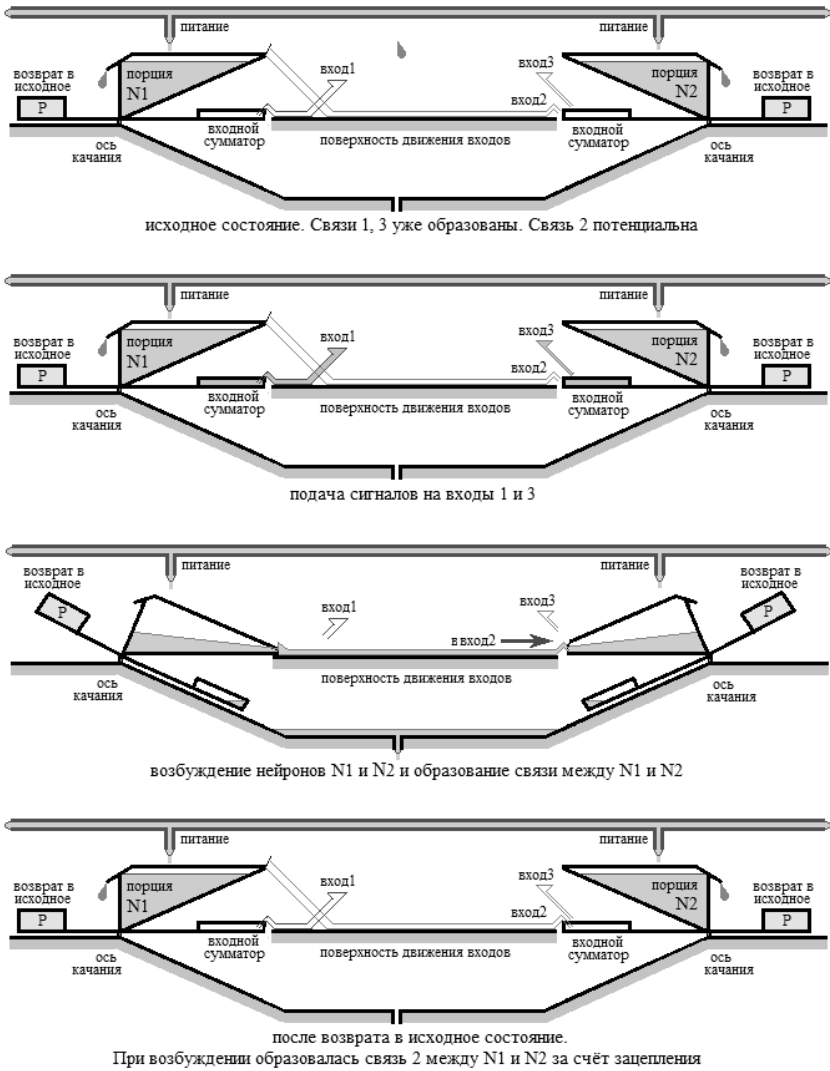


Рис. П1. Схема гидравлической модели простейшей нервной системы

Изображённая на рисунке гидравлическая модель нервной системы (на рисунке показаны два гидравлических «нейрона» в процессе) способна моделировать не только возбуждение гидравлического «нейрона» за счёт подачи сигнала в виде какого-то количества жидкости на входной сумматор, но и образовывать новые связи между «нейронами». Гидравлический «нейрон» состоит из двух жёстко связанных емкостей разного объёма. Объём жидкости, запасённый в большей ёмкости, предназначен для возбуждения последующих «нейронов» в случае возбуждения рассматриваемого нейрона. Меньший объём («входной сумматор») является спусковым крючком, возбуждающим «нейрон» путём его переверачивания при достаточном уровне входного сигнала – при достаточном уровне жидкости во «входном сумматоре».

Схема гидравлической модели нейрона обеспечивает выполнение основных функций нейрона за счёт обеспечения 3 основных черт:

1) Нейрон возбуждается при превышении уровня входного сигнала над пороговым уровнем. До того гидравлический «нейрон» находился в равновесии вблизи положения нарушения равновесия. Ёмкость нейрона постоянно заполняется из магистрали питания до некоторого уровня (до уровня перелива или перекрытия клапана заполнения ёмкости «нейрона»). Лишняя жидкость стекает через перелив из большой ёмкости, так что «нейрон» может оставаться в равновесии неопределённо долго. Заполнение малой ёмкости «входного сумматора» жидкостными «сигналами» от других «нейронов», участвующих в возбуждении рассматриваемого нейрона, нарушает это равновесие, ёмкость переверачивается – «нейрон» возбуждается и высвобождает энергию запасённой в его ёмкости жидкости. После вытекания порции жидкости из большой ёмкости «нейрон» сможет вернуться в исходное положение под действием груза «возврат в исходное». Ёмкость «входного сумматора» имеет утечки, поэтому влияние давних «сигналов» непрерывно уменьшается до нуля. Для возбуждения «нейрона» нужно, чтобы входной сигнал превысил пороговый уровень (нарушил равновесие), чтобы скорость наполнения «входного сумматора» жидкостными сигналами была достаточно высокой.

2) Высвобождающаяся при возбуждении «нейрона» энергия порции накопленной жидкости распространяет «сигнал» дальше.

Жидкость вытекает из ёмкости и течёт по имеющимся к моменту возбуждения трубам – гибким рукавам-связям во «входные сумматоры» других нейронов, к которым к данному моменту уже подключены сигнальные связи-рукава (тонкие рукавчики), по которым запасённая в рассматриваемом «нейроне» и в других таких же «нейронах» жидкость при их возбуждении перетекает в сумматоры, и может возбудить какие-то нейроны-приёмники, если поступающая от различных возбуждённых «нейронов» жидкость достаточно наполнит их «входные сумматоры». «Сумматоры» имеют утечки – жидкость истекает из них с некоторой малой скоростью, так что для возбуждения нейрона его входной сумматор должен наполняться достаточно быстро, хоть по одному мощному входу, хоть по многим слабым.

3) При возбуждении «нейрона» его выходные рукава с зацепами (крючками) на кончиках под влиянием поступившей в них жидкости могут слегка податься вперёд. При этом если ещё незадействованный (неприсоединившийся) рукав подходит к сумматору невозбуждённого нейрона, ничего не происходит (жидкость сливается перед стенкой сумматора), поскольку зацеп рукава упирается в стенку сумматора. Если же ещё неприсоединившийся рукав подвигается в сторону возбуждённого нейрона, он уже не натывается на стенку опустившегося при возбуждении нейрона его сумматора, а продвигается вперёд и входит в зацепление с сумматором возбуждённого нейрона и остаётся в зацеплении с сумматором этого нейрона навсегда – образовалась новая связь.

Такая модель обеспечивает выполнение и других функций, присущих биологическому нейрону, компьютерному и электронному нейроподобным элементам, что дополнительно иллюстрирует механизм конкуренции, обеспечивающий реализацию принципа «первый получает всё» (очевидно, что из-за ограниченного объёма жидкости порции на всех не хватит, а жидкость по рукавам быстрее стекает в опустившиеся сумматоры возбуждённых «нейронов»). Этот принцип, в свою очередь, позволяет реализоваться лишь одной линии реакции из многих возможных, чтобы организм не становился каждый раз в ступор из-за невозможности двигаться сразу по множеству путей вместо того, чтобы двигаться по одному оптимальному.

Видим, что можно было бы построить и гидравлическую модель простейшей НС с малым количеством гидравлических «нейронов». Понятно, что быстродействие и надёжность работы такой модели чрезвычайно малы. Поэтому никто такую модель строить не собирается. Схема приведена для иллюстрации действенности логики функционирования мозга, предлагаемой нами.

С другой стороны, следует отметить, что аналогия гидравлической модели с электронной далеко не поверхностна. Эти модели тождественны в отношении движения порций энергии и потенциалов. А законы явлений, связанных с потенциальными полями, идентичны независимо от того, какое поле рассматривается – гравитационное (для гидравлики) или электрическое (для электронной схемы). Эта идентичность проявления потенциальных полей обусловлена единством их природы.

Поэтому рассмотрение гидравлической модели будет полезно для понимания принципов функционирования мозга тем читателям, которые не на короткой ноге с электрическими схемами.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

После прочтения данной работы можно, в порядке уничтожающей критики, спросить: «Если автор понял принципы функционирования мозга, то где же его (автора) собственные достижения? Почему не видно его достижений в математике, физике, биологии; наконец, в экономике?». Ответ на это замечание такой: понимание процессов, протекающих в организме спортсмена, не поможет специалисту-физиологу добиться высоких результатов в спорте. Тогда как спортсмен, ежедневно тренируя свой организм, добивается гораздо более высоких результатов. Конечно, знания о процессах в своём теле не помешают, а, наоборот, помогут спортсмену несколько улучшить свой результат. Но всё-таки главный вклад в результат даёт освоение предметной области, т.е. тренировки тела и рефлексов для спортсмена и овладение именно своим предметом для любого специалиста, будь это каменщик, электротехник, хирург или астрофизик.

При этом понятно, что знание принципов функционирования мозга никому из них не мешает, а помочь может.

С уважением и благодарностью за прочтение
В.Н. Шумилов

О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ	5
ВВЕДЕНИЕ	7
Информационная ёмкость мозга человека	13
Оптимизация компоновки мозга (об извилинах)	29
Эволюция организмов (выживание – пропуск в последующую жизнь)	31
Мозг – орган предвидения (на основе прошлого опыта)	55
Принципы функционирования мозга (естественного и искусственного)	68
Механизмы памяти (запоминание, забывание, «торможение»)	86
Схема электрическая принципиальная мозга	98
Моделирование работы мозга на компьютере	122
Основные составляющие психологических явлений (обусловленные стремлением НС – носителя личности к минимизации раздражений)	133
Невозможность клонирования личности	168
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	173
ЛИТЕРАТУРА	180
ПРИЛОЖЕНИЕ	182
ПОСЛЕСЛОВИЕ	186

Научное издание

ШУМИЛОВ Владимир Николаевич

ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОЗГА

Редактор *В.Г. Лихачева*
Компьютерная вёрстка *Г.П. Орловой*

Подписано в печать 03.11.2015 г.
Формат 60x84¹/₁₆. Печ. л. 11,8; усл. печ. л. 11,0; уч.-изд. л. 10,8.
Тираж 500 экз. Заказ 1392

ООО «Издательство ТГУ», 634029, г. Томск, ул. Никитина, 4

Отпечатан на оборудовании Издательского Дома
Томского государственного университета,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, тел. 8(382-2) 53-15-28; 52-98-49
<http://publish.tsu.ru>; e-mail; rio.tsu@mail.ru