

## Принципы функционирования мозга (ЕМ и ИМ)

Готовность мозга к генерации некоторой мысли можно представить себе в виде цепочки стоящих костяшек домино. Протекание мысли аналогично последовательным падениям костяшек домино, стоящих в ряду. Падение каждой предыдущей костяшки домино вызывает падение следующей, и так далее. Точно так же, как и падение костяшек домино, течение отдельных фрагментов мысли нельзя остановить – мысль появилась и пропала (нейрон возбудился 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 возникают вопросы: кто или что выстроило эту дорожку и связало цепочку? Из рассмотренного выше мы можем ответить, что именно предыдущий опыт в широком смысле этого слова устанавливает по ходу жизни связи между нейронами, т.е., именно предыдущий опыт «выстраивает ряды костяшек домино». А текущие обстоятельства, отражаемые органами чувств в виде сигналов разной значимости, можно сказать, подправляют, подталкивают очередные фрагменты мысли, а также действуют на разветвления мыслей. В связи с проводимой аналогией возникает вопрос – а что поднимает, устанавливает в рабочее состояние, взводит 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 нейроны 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 информация фиксируется посредством установления связей между ними. Во-вторых, через свои связи нейроны могут возбуждать друг друга, образуя цепочки последовательно возбуждаемых нейронов различной длины и конфигурации.

Мы попытаемся определить эти принципы, соответствующие работе естественного человеческого мозга (ЕМ). На этих же принципах может быть создан и совершенно искусственный мозг (ИМ). Этот 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. Участие этих процессов в формировании электрических сигналов, пробегающих по цепочкам нейронов, может быть учтено путём подстановки вместо этих неэлектрических процессов соответствующих им электрических эквивалентов.

Рассмотрение принципов позволит понять работу нашего мозга. И на этих принципах

вполне может быть создан Искусственный электронный Мозг, способный к самоизменению, к самоорганизации, начиная с «чистого листа», подобно мозгу младенца. Этот Искусственный Мозг 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 так далее. 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, но и лучше понять, как работает наш Естественный Мозг. На основе этих знаний, 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 обучения (скажем, иностранному языку) и развития различных способностей к творчеству, и заканчивая лечением различных отклонений 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 асинхронных логических элементов – нейронов, функционирующих параллельно и достаточно независимо друг от друга. Их функционирование заключается в возбуждении выхода при поступлении на вход сигнала нужного уровня.
2. Логические элементы-нейроны связаны между собой по входам-выходам. В этих межнейронных связях зафиксирован жизненный опыт 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 и действия частей организма, управляемых возбуждёнными нейронами определяется именно конфигурацией связей между нейронами. Так что межнейронные связи представляют собой актуальную информацию.
3. Будучи возбуждёнными, нейроны продолжают оставаться в состоянии возбуждения некоторое время.
4. Между нейронами, находящимися в механическом контакте и пребывающими одновременно в возбуждённом состоянии, могут образовываться новые постоянные парные связи типа гальванических, ослабевающие с течением времени. Связи эти могут устанавливаться в результате электрического пробоя или его эквивалента – механического, биохимического и т.п.
5. Так что волны возбуждения, проходящие по уже существующим связным цепочкам нейронов, порождают в процессе возбуждения нейронов все новые связи между возбуждёнными в данный момент нейронами, а тем самым, и между «параллельными» цепочками. При этом связи между нейронами стремительно размножаются и усложняются из-за огромного количества самих нейронов и возможных связей между ними.

Отметим, что основной отличительной чертой нашей модели является то, что мозг

всегда действует в одном единственном режиме – режиме жизни.

**А связи устанавливаются только между нейронами, находящимися в возбуждённом состоянии. В возбуждённом состоянии нейроны находятся в течение некоторого конечного промежутка времени.**

Утверждение о том, что связи могут устанавливаться **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 стороны, то очень скоро все потенциально возможные связи были бы установлены. И мозг в дальнейшем уже не мог бы запоминать (воспринимать) абсолютно ничего нового. С другой стороны, все эти произвольным образом установившиеся связи не отражали бы реально произошедших событий. В таких связях была бы полная каша, и никакой пользы. То есть, информационное наполнение всех этих связей было бы близко к нулю.

Возможность образования связей между **возбуждёнными нейронами** порождает возможность опережающей реакции в будущем на последовательности различных обстоятельств, влияющих на организм и приведших в прошлом к образованию связей. То есть, образования связей порождает возможность упреждающей реакции на различные факторы, в том числе и негативные, на основе «предвидения» – опережения. Это существенно увеличивает шансы организма на выживание и даже на своё расширенное воспроизводство. Вследствие чего мир завоёвывают более или менее разумные существа.

Причём, связи прокладываются только от выхода одного возбуждённого нейрона к входу другого нейрона, также находящегося в этот момент в возбуждённом состоянии. Связи между выходами нейронов, так же как и между их входами, не устанавливаются, (практически никогда не наблюдаются в природе, в лаборатории).

Далее мы перечисляем уже чуть менее существенные принципы функционирования мозга. Хотя без их учёта также невозможно представить себе успешное существование организма с мозгом.

6. Для того, чтобы организм под управлением нервной системы, хоть простейшей, хоть развитой, мог выжить, самые глубокие слои этой нервной системы (ядро) должны обеспечивать адекватную реакцию организма на внешние обстоятельства-раздражители. То есть, при поступлении сигнала извне организм должен обязательно отреагировать на него. Если реакция адекватна, организм продолжает свою линию, иначе – погибает. Поэтому в основе нервной системы должна лежать реакция на возможные опасности окружающего мира, в том числе голода и дискомфорта. Условно назовем эту реакцию «боль». Эта реакция должна присутствовать в организме безусловно, генетически, то есть, она должна быть предопределена происхождением организма. А уже все остальные реакции в ходе жизни, в том числе и ещё до рождения, так или иначе присоединяются к этой основе нервной системы. Так что ядро нервной системы представляет собой реализацию принципа: **«ВЫЖИТЬ** (убежать 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, по существу, и является сутью деятельности организма. Если организм находит «оптимальное» положение, т.е. состояние, где уровень «боли» минимален и практически не увеличивается при малых смещениях от него, то организм впадает в полусонное, полуактивное состояние неги, блаженства. Тогда в голове едва бродят мысли, не обусловленные внешними входными сигналами, инициированные псевдослучайными возбуждениями – воспоминаниями. Эти замечания можно изобразить графически в виде следующего рисунка (Рис 8):

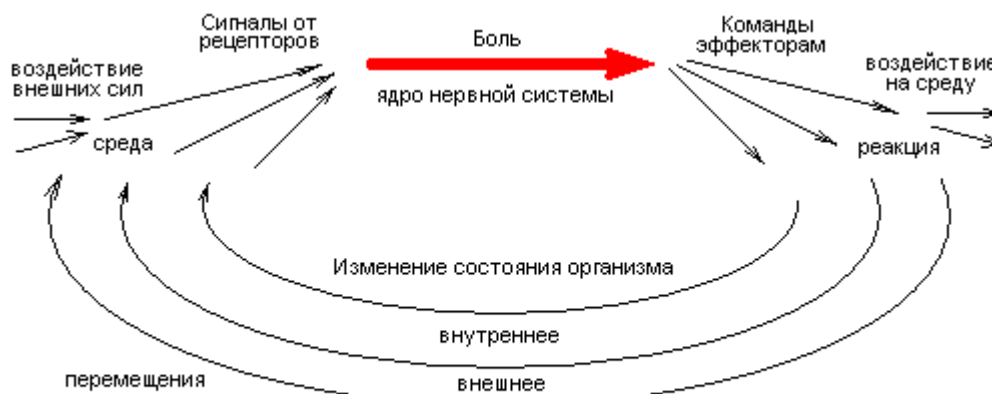


Рис 8.  
Модель животного

7. Мы уже рассмотрели «запоминание» логических связей между событиями путём установления электрических связей между различными нейронами, возбуждёнными примерно в одно и то же время и воспроизведение «логических» связей между событиями (предвидение событий).
8. Наш вариант установления связей между точками двух нейронов с разностью потенциалов большей, чем напряжение пробоя, не только позволяет установить связь между нейронами, которая обеспечивает запоминание-воспроизведение. Этот же вариант автоматически, без всяких дополнительных требований и предположений обеспечивает линейность, одномерность, вернее, «невзрывообразность» распространения 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» 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 обеспечивает «забывание» – отход на второй план устаревающих, перестающих быть актуальными связей, а также и «торможение» ранее установленных связей. В принципе, существующее ныне представление о «торможении» представляется излишним, ошибочным – достаточно ослабления устаревающих связей!
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 малый порог позволяет установиться между нейронами связям, реализующим безусловные рефлексы. Цепочки безусловных рефлексов реализуются на изначально отдельных нейронах, которые логически, электрически поначалу не связаны между собой, но находятся в тесном механическом контакте, образуя процесс роста и всего организма, и мозга. Этот контакт, обусловленный географическим расположением нейронов, по существу предопределяет спонтанное установление связей, реализующих безусловные рефлексы в самом раннем возрасте. Но связи эти не являются гарантированными, что проявляется при различных детских болезнях ЦНС.
11. Когда нейроны на входе в головной мозг теряют работоспособность из-за усталости, разряженности, они перестают пропускать сигналы от внешних раздражителей внутрь мозга. Для «уставших» входных нейронов повышается порог срабатывания, и через них уже не может пройти и нормализоваться сигнал извне – даже цифровые сигналы с вероятностью, стремящейся к 1, не могут превысить порог срабатывания,

поэтому не могут преодолеть входных каскады при повышении порога – барьера. Лишённая входных сигналов центральная нервная система (головной мозг) 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 и через высокий входной барьер, ещё до полного восстановления работоспособности входных нейронов.

Вообще-то, 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, но полномасштабная компьютерная модель мозга требует недоступных на сегодняшний момент мощностей, как по объёму памяти, так и по быстродействию существующих традиционных процессоров.

Схемотехническая реализация мозга гораздо сложнее. Зато, если она удастся, то даст огромный выигрыш по сравнению с естественным человеческим мозгом в скорости – в миллионы раз – таково превосходство в быстродействии электронных схем над биологическими. Так что даже усеченная схемотехническая модель с малым количеством нейронов может оказаться очень полезной при управлении различными быстропротекающими процессами в сложных, быстро меняющихся условиях типа взрыва, падения, которые невозможно просчитать заранее. Но особенно важна скорость и точность реакции мозга в условиях противоборства нескольких субъектов с критичностью по времени – это любой бой: воздушный, морской, подводный, космический, финансовый и, конечно же, спортивное состязание. Для обучения мозга бою можно всю телеметрию запускать не только на реально управляющий ИМ, но и на его дубль, находящийся в надёжном месте. Тогда после возможного уничтожения реально управляющего мозга можно устроить шок дублирующему, чтобы он сделал выводы, в том числе, и о причинах смерти своего товарища или даже брата-близнеца. Этически такое использование ИМ будет аналогично использованию собак-минёров для подрыва танков, только покруче – Искусственный Мозг может оказаться гораздо умнее собаки.

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 используются в различных процессах. Поэтому все и усложняется. Каждая подсистема организма вынуждена выполнять множество функций. Так, кровь и доставляет к органам продукты питания, и уносит из них 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. Нам же пока не надо экономить. И поэтому наша задача – понять принципы функционирования естественного мозга и на базе этого понимания создать искусственный мозг – существенно упрощается.

Мы можем свести все разнородные процессы, протекающие в мозге, к чисто электрическим, имея в виду, что преобразование механических или химических сигналов в электрические в живом организме происходит достаточно однозначно. Так что для моделирования функционирования мозга с математической точки зрения 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, и в кровь впрыскивается адреналин. 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 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. 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.

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 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 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]. А если очень медленно передвигать объект в поле более простого зрения насекомого, то насекомое просто не видит этого предмета.

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, такими как:

- индивидуальные сопротивления каждого из 10 000 входов (вес связи),
- порог срабатывания логического элемента (формирователя),

- входное сопротивление всего нейрона (формирователя),
- выходное сопротивление,
- потенциал покоя (пусть и на выходе, и на входе равен 0),
- потенциал возбуждённого выхода ( $U_{out} > 0$ ),
- потенциал возбуждённого входа ( $U_{in} < 0$ ),
- задержка срабатывания (при возбуждении),
- время активации (время пребывания нейрона в возбуждённом состоянии),
- время отдыха (восстановления работоспособности) нейрона.

Работает этот логический элемент следующим образом: после фактического суммирования сигналов – вкладов со всех входов этого логического элемента, при достижении порогового потенциала на входе усилителя-формирователя (нормализатора), нейрон возбуждается, и потенциал выхода нейрона скачком (за время задержки срабатывания) изменяется от потенциала покоя до потенциала возбуждённого выхода. То есть, элемент-нейрон работает фактически в цифровом режиме, хотя вход у него как бы аналоговый. 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 их разными весами) и порогов их возбуждения, распространяя первичный входной сигнал по сложному многозвенному пути. Этот путь обуславливается совокупностью действующих в данный момент входных сигналов от разных рецепторов-измерителей внешних обстоятельств – рецепторов и существующими в данный момент связями, то есть, 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. Он, в конце концов, по многозвенному пути доходит до эффекторов (мотонейронов), осуществляя синтезированную на многовходовых звеньях-нейронах 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. Нейроны выдают нормализованные сигналы (или 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 инженерная практика давно показала, что проще всего реализуется двоичное представление информации. Оно же и наиболее помехоустойчиво. Надо полагать, что природа тоже «пришла к таким выводам». Причём гораздо раньше появления в этом мире инженеров-электронщиков.

Заряженность – разряженность нейрона, т.е. готовность к работе, программно можно моделировать изменением порога срабатывания. Причём в молодые годы (в раннем возрасте человека) пороги срабатывания нейронов ниже, чем у взрослых людей. Поэтому и связи в молодом мозге устанавливаются 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). 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 – аксон со временем покрывается жирком-миелином на своих более старых участках. Так что очень старые связи-воспоминания (из детства) могут быть фактически полностью утрачены – их логический вес становится близким к нулю. Но зато аксон 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 действующих дендритов, без учёта уже практически утраченных старых связей. В этом случае мозг мог бы обновляться практически бесконечно (с учётом ограничения физического объёма устаревающих связей).