Упорядочение как источник синергетических эффектов в экстремальных витасистемах*

Совместно с Г.М. Алакозом, Е.Н. Быдановой, С.И. Пляскотой

Введение

Любое взаимодействие человека с материальным миром, включая и *управление* многомерными объектами, какими являются, в частности, робототехнические авиационных комплексы, рои беспилотных летательных аппаратов, смешанные агломерации беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов и т.п., требует *измерения* (*наблюдения*) и *идентификации* объектов и процессов. Витасистемы в их каноническом представлении [1,2] могут рассматриваться как обобщающая категория или метакласс указанных *динамических объектов*, само существование которых обусловлено внутренним движением (нет движения – нет объекта). В условиях структурной неразличимости объектов, как это имеет место, например, в квантовой механике, измерение и идентификацию объектов произвольной природы невозможно осуществить без *абстрактного представления* протекающих в них *процессов* в лингвистической, алгебраической, геометрической и иных формах, что во многом и предопределяет *структуру и функции* измерительных и/или интерфейсных систем. При этом исходной во всех случаях является лингвистическая форма описания, которая согласно И. М. Сеченову [3] является наиболее общим и, по мнению авторов, достаточно строгим способом абстрактного описания некого предмета или процесса (явления).

Ограничимся тремя формами абстрактного представления исследуемых материальных объектов и процессов: численной, теоретико-множественной и логической.

Когда нас интересуют *причинные связи* и закономерности взаимодействия материальных объектов, включая их иерархические отношения друг с другом, то мы прибегаем к их абстрактным представлениям, используя понятие *величины*, под которым обычно понимается все, что может быть измерено и выражено *числом*.

Когда нас интересуют *структурные свойства* материальных объектов, то мы прибегаем к их теоретико-множественным представлениям, понимая под *множеством* совокупность некоторых элементов, объединенных каким-либо общим измеряемым признаком, который лежит в основе теста проверки *отношения принадлежности* каждого элемента x к идентифицируемому множеству: $x \in A$. Элементы множества могут быть произвольной (не)материальной природы: числа, фигуры, предметы, понятия и т. п., а используемый для идентификации признак не обязательно является значимым для существования исследуемого объекта и оценивается по своим сепарирующим возможностям.

Когда нас интересует использование уже имеющихся в нашем распоряжении эмпирических знаний о материальных объектах и процессах, то мы используем логические формы их представления, где конструкция «если…, то…» играет роль не причинной связи, а *логической связки*, которая с некоторыми оговорками гарантирует истинность следствия по отношению к посылке, принимаемой за достоверную, но не обязательно таковую в широком смысле (например, при изменении внешних условий оценивания).

Именно наличие таких оговорок в любой системе логического вывода и вынуждает прибегать к эмпирическому подтверждению, полученного на их основе фундаментального результата, который в дальнейшем распространяется на широкий класс прикладных результатов методами и средствами умозаключений, а не затратных экспериментов.

* Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD’2020) [Электронный ресурс] : материалы Тринадцатой междунар. конфер., 28–30 сент. 2020 г. – Электрон. текстовые дан. (26,1 Мб). – М.: ИПУ РАН, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-R)

Главная специфика витасистемного подхода [1,2] к исследованию крупномасштабных систем состоит в том, что исследуемые в них процессы по своей материальной сути носят иерархический характер, а взаимодействия между биогибридными компонентами способны приводить к образованию диссипативных структур [4], инструктированному синтезу биологических макромолекул [5] и т.д., причем согласно теории зарождения жизни на Земле [6] составляющие живое биогибридные компоненты продолжают эволюционировать по свойственным им законам и закономерностям, где особую роль играет фактор *упорядочения взаимодействий*.

Цель работы: показать роль упорядочения взаимодействий биогибридных элементов витасистем в процессах смены и сохранения экстремальных состояний.

1 Упорядоченность в атомарных объектах и процессах

Проблема измерения и управления квантовыми объектами и процессами упирается в две проблемы:

а) идентификации *состояний*, которые, как и во всякой динамической системе, являются *функцией времени*, измеряемый параметр которой должен однозначно соответствовать каждому состоянию;

б) представления квантовых состояний параметрами макроскопических и, в первую очередь, измерительных систем, роль которых в контурах управления играют сенсорные системы, что далеко не одно и тоже.

Один из главных в метрологии постулатов – единство измеряемых величин, и в задачах управления пространственно сосредоточенными объектами он теряет свою актуальность, поскольку для них управление носит относительный характер и основано на собственной «метрике» – регулятору Уатта безразлично в каких единицах *оценивается* рассогласование. Строго говоря, само понятие «измерения» в сосредоточенных системах и в метрологии, которая изначально выполняла функцию согласования мер в задачах торгового обмена, довольно сильно разнятся по смыслу. Когда речь идет о сосредоточенных системах (изолированных, открытых или полуоткрытых) единица измерения для каждого объекта является индивидуальной, его и только его собственной мерой. В частности, чтобы поддерживать гомеостаз в переменной среде организму достаточно только обеспечить однозначное соответствие между значениями входных и выходных величин, так как его метаболизм съедает ровно столько энергии, сколько требуется именно этому организму и в обезличенных единицах.

Специфика идентификации квантовых объектов и процессов состоит в следующем.

1. В квантовой механике отличают *чистые* и *смешанные* состояния. Чистое состояние – это полностью определенное квантовое состояние и его можно описать с помощью уравнений Шрёдингера, которые справедливы только для замкнутых систем и для *стационарных* состояний, выражаемых собственными векторами гамильтониана. При отсутствии вырожденности эти вектора однозначно связаны с различными *численно представимыми* уровнями энергии. В общем случае квантовое состояние является смешанным и его принципиально нельзя описать волновыми функциями Шрёдингера. Для таких состояний используются *матрицы плотности*, которые являются неотрицательными самосопряженными операторами с единичным следом. Это позволяет интерпретировать квантовые состояния как статистические ансамбли, которым соответствуют множества квантовых чисел $\{n, l, m_l, m_s\}$, однозначно связанные с различными уровнями энергии.

2. В квантовой механике принято, что *элементарные* частицы (электроны, нейтроны и т. д.), которые образуют два класса: бозоны и фермионы, и *составные микрочастицы*, такие как атомы и молекулы одного и того же вещества, *принципиально неразличимы по внутреннему строению*. Различить материальные объекты можно двумя способами: по особенностям их физических свойств или по траекториям их движения, но в любом случае для идентификации динамического объекта необходимо подать на него возмущение и в

ходе эксперимента регистрировать изменение параметров либо собственного внутреннего движения, либо объекта в целом.

3. Согласно канонам квантовой механики существенны не столько инструментальные погрешности измерений, достижимые на определенном уровне технологического развития измерительных приборов и характерные для классической механики, сколько *фундаментальные* пределы точности измерительных средств и малости возмущений, которые присущи внутренней природе вещей, и их нельзя преодолеть совершенствованием техники и искусства экспериментатора.

4. Квантовая система с известными свойствами (масса, момент инерции и т. п.) и силами взаимодействия между ее частями способна совершать только те движения, которые *совместимы с законами действия этих сил*. Каждое такое *невозмущенное движение* в дальнейшем используется как *градуированное состояние* квантовой системы, которым оперируют в процессе идентификации. А поскольку измерение траектории ограничено фундаментальными пределами, то и сама идентификация может проводиться только на основе суперпозиции градуированных состояний, в которых *одновременно* может находиться каждая квантовая частица и система в целом.

В таких условиях идентификации П. Дирак [7] использовал кэт-вектора для обозначения вектора состояний системы, понимаемого в указанном выше смысле. Здесь приставка «кет» отражает окончание английского слова *bracket* (скобка), то есть правую часть скобки $|\ldots\rangle$, а «бра» отражает левую часть скобки $\langle\ldots|$ и используется для обозначения «сопряженного вектора состояния».

Для кэт-векторов справедливы операции умножения на комплексные числа c_i и сложения, с помощью которых можно получать другие кэт-вектора:

(1) $c_1|A\rangle+c_2|B\rangle=|R\rangle.$

Рассматривая квантовую систему, прежде всего, как динамическую, существование которой поддерживается и поэтому неразрывно связано с *собственным внутренним движением* ее элементов, П. Дирак поставил каждому ее состоянию в определенный момент времени соответствующий кет-вектор $|R\rangle$, считая, что состояние R образовано наложением (суперпозицией) других состояний A и B, удовлетворяющих (1).

Факт *существования* квантовых систем на конечных интервалах времени предполагает:

а) характеризующий ее состояние кет-вектор не может быть равен нулю, так как в противном случае собственное движение отсутствует, а с ним отсутствует и вся динамическая система;

б) наложение состояния само на себя: $c_1|A\rangle+c_2|A\rangle= (c_1+c_2)|A\rangle$ не изменяет исходное состояние, то есть кет-вектор $(c_1+c_2)|A\rangle$ должен соответствовать $|A\rangle$.

Формально-логические следствия ограничений «существования»:

– если кет-вектор, соответствующий некоторому состоянию, умножить на любое неравное нулю комплексное число, то результирующий кет-вектор будет соответствовать исходному состоянию;

– состояние динамической квантовой системы задается лишь направлением кет-вектора, которому можно приписать произвольную «длину»;

– все состояния динамической квантовой системы находятся во взаимно однозначном соответствии с возможными направлениями кет-векторов без каких-либо различий между направлениями кет-векторов $|A\rangle$ и $-|A\rangle$;

– если масштабировать коэффициенты c_1 и c_2 в (1), умножив их на одно и тоже комплексное число, то результирующий кет-вектор $|R\rangle$ умножится на то же число, но представляемое им состояние R не изменится.

Таким образом, согласно представлению (1) для идентификации состояния R квантовой системы существенно только *соотношение* между c_1 и c_2, которое не изменяется от умножения его компонент на одно и то же комплексное число, то есть суперпозиция из двух состояний автоматически порождает бесконечную последовательность состояний.

Приведенные данные указывают на следующие принципиальные отличия суперпозиции для квантовых и классических систем:

1. В классических колебательных системах допускается суперпозиция состояния с самим собой, что всегда приводит к другому состоянию с другой амплитудой, а в квантовых системах такая суперпозиция, если и имеет место, то не идентифицируема измерительными средствами, так как не меняет состояние.

2. В классической механике осмысленно состояние покоя, в котором амплитуда колебаний повсюду рана нулю, а в квантовых системах нулевой кет-вектор соответствует отсутствию какого-либо состояния вообще, а значит и квантовой системы;

3. Если квантовая система имеет хотя бы два физически различных состояния, то мощность множества возможных представлений одного и того же состояния в форме (1) (с точностью до умножения на комплексное число) бесконечна. Поэтому под *количеством состояний* квантовой системы подразумевают количество линейно независимых состояний, то есть размерность гильбертова пространства , поскольку эта величина характеризует количество возможных *исходов измерения*.

Таким образом, используемые в квантовой механике абстрактные *представления состояний* квантовых систем и основанные на них методы и средства идентификации определяются *соотношениями* параметров суперпозиции c_1 и c_2 и поэтому они инвариантны (индифферентны) к неразличимым состояниям и к масштабированию, что характерно для операций на канторовых множествах.

В канторовом теоретико-множественном представлении суперпозиция представляется *объединением* (суммой) двух множеств A и B, под которым понимается результирующее множество $A \cup B$, состоящее из всех элементов, принадлежащих хотя бы одному из объединяемых множеств: $A \cup B = \{x\text{: } x \in A$ или $x \in B$ или обоим множествам$\}$.

Пример: $A=\{1,3,6,8\}$ и $B=\{2,4,6,8\}$. Тогда объединение A и B есть $A \cup B=\{1,2,3,4,6,8\}$. При этом элементы 6 и 8 принадлежат обоим множествам, *но входят в объединение однократно*.

Аналогично определяется объединение более чем двух множеств: $A_1 \cup A_2 \cup \ldots \cup A_n$.

Из приведенных данных следует, что элементы x входят и в объединяемые множества $x \in A$ и $x \in B$, и в их объединение $x \in (A \cup B)$ *без повторений*, то есть *однократно*, вследствие чего *мощность* (в данном случае количество элементов) объединения *не равна сумме мощностей объединяемых множеств*: $|(A \cup B)| \neq |A|+|B|$. В нашем примере $|(A \cup B)|=6<|A|+|B|=4+4=8$.

Отсюда, теоретико-множественное объединение *не аддитивно* по отношению к мощности элементов объединяемых множеств, где, как и для всякой нормы, выполняется неравенство треугольника $|(A \cup B)| \leq |A|+|B|$. Это неравенство в общем случае нарушает базовые *законы сохранения* (массы, энергии, импульса и т. п.) и источником этих нарушений служит *неразличимость* объединяемых материальных объектов или процессов. Но мы не можем отказаться от теоретико-множественных представлений, которые служат фундаментальной основой других математических форм представления [8], а практически все эволюционные теории контекстно или явно исходят из принципа преемственности механизмов развития, согласно которому все предшествующие механизмы, продолжают эволюционировать с разной скоростью внутри организма [6] и сохраняют свою актуальность на всех последующих фазах развития – эволюция ничего не «забывает» и продолжает использовать на каждом уровне структурно-функциональной сложности все пригодные механизмы-предшественники, включая реликтовые и рудиментарные [9]. Именно такое положение дел в эволюции вынуждает нас рассматривать все живое как гетерохронно развивающееся биогибридное образование, в котором сохранена роль физико-химических компонент и взаимодействий в их первозданном виде.

По всей видимости, *E. Lugaro* был одним из первых, кто предложил рассматривать *обучение как продолжение эмбрионального развития*, понимая под «пластичностью» структурно-функциональные преобразования, происходящие в мозге в процессе его созревания и обучения [10]. П. К. Анохин пошел дальше и рассматривал системогенез как избирательное и гетерохронное созревание в пренатальном периоде [11], которое создает или, как минимум, ограничивает потенциал приспособительной деятельности организма. Его ученики раскрыли роль системогенеза в решении «более оперативных» задач становления функциональных систем во взрослом организме [12], включая конкретные поведенческие акты с неизбежным использованием опыта и обучения [13]. Это потребовало распространить принципы системогенеза на молекулярные механизмы (долговременной) памяти [14,15], функции которой могут выполнять атомы, молекулы, субнейрональные и нейрональные структуры, обладающие конечным «временем жизни».

Несмотря на отсутствие общепризнанных данных по интенсивности обновления в живом атомарных и молекулярных, субнейрональных, нейрональных и других структур, уже признано, что и генетически запрограммированный процесс гибели клеток (апоптоз), и деструктивные процессы гибели нервных волокон и субсинаптических структур необходимо рассматривать с позиций *единства процессов развития и интегративной деятельности* мозга при решении «повседневных» задач взрослого организма [16–18].

Таким образом, отказавшись от теоретико-множественных представлений мы исключаем из рассмотрения богатейший арсенал механизмов разрешения в природе *проблемы неравенства треугольника*, оставляя за скобками целевую, а с ней и содержательную направленность *управления* в живом.

Кроме того, теоретико-множественному представлению достаточно просто поставить в соответствие *шкалу наименований*, которая в простейшем случае составляет «формально-логическую» основу механизма работы «светофора» или «демона Максвелла», реализующих управление по наименованию. Аналогичный механизм управления по типу «стимул – реакция» был использован еще в *XIX* веке С. Н. Корсаковым при создании интеллектуальных машин [19] и в модифицированном виде используется в современных смартфонах. На физиологическом уровне описания схема управления «стимул – реакция» соответствует декартовой безусловно рефлекторной дуге, естественной эволюционной предшественницей которой может служить любая физико-химическая система с полимодальными взаимодействиями компонент. По сути, декартова схема фиксирует переход от объективно существующего, неразрывного, полимодального (гравитационного, электромагнитного, механического и т. п.) *множества* взаимодействий физико-химических компонент к *цепочке бимодальных* (*прямых*) *причинных* связей, каждое из которых становится функционально значимым, благодаря соответствующим механизмам стабилизации бимодальных взаимодействий, рассматриваемых в качестве «паразитных».

Конструктивность и универсальность такого перехода отражена в фундаментальной теореме А. Н. Колмогорова [20] – произвольную непрерывную функцию многих переменных всегда можно представить суперпозицией непрерывных функций одной переменной, причем реализующая такую суперпозицию сеть из формальных нейронов носит регулярный характер [21].

Кроме того, шкала наименований достаточно просто перерастает в шкалы порядка путем расширения семантики сущности, в частности, по бинарной схеме, основанием которой служат два исхода, выраженных наименованиями «хорошо» и «плохо». Каждое из этих наименований дальше разбивается на пары путем упорядочивающих префиксных приставок «более» или «менее» и так далее до бесконечности. В результате формируется некоторый порядок и естественно связанная с ним ультраметрика [22] (иерархичность) и размытость как таковая, которая лежит в основе многих современных систем искусственного интеллекта.

Из неравенства треугольника следует, что законы сохранения в теоретико-множественных представлениях выполняются в предельном случае $|(A \cup B)|=|A|+|B|$, когда объединяемые множества не содержат идентичных (неразличимых) элементов, то есть их теоретико-множественное *пересечение* «пусто» ($A \cap B=\varnothing$). Это условие может выполняться естественным образом до выполнения операции объединения, а в противном случае оно должно быть обеспечено либо в процессе, либо после объединения.

В процессе объединения для этого достаточно переименовать все элементы $x\in(A\cap B)$ в одном из объединяемых множеств, в частности, $B \to B'$ ($|B'|=|B|$), что автоматически приводит к выполнению условия $A\cap B'=\varnothing$ и равенству $|(A\cup B)|=|(A\cup B')|=|A|+|B'|$.

После объединения это можно сделать численным путем, дополнив неравенство треугольника еще одним членом, что превращает его в строгое равенство: $|(A\cup B)|=|A|+|B|+|A\cap B|$, но в любом случае сначала необходимо решить задачу «различения неразличимого», для чего требуется *материально реализуемый тест* проверки отношения принадлежности $x\in(A\cap B)$, и только после приступать к переименованию объектов $B \to B'$ или подсчету мощности пересечения $|A\cap B|$.

Если принять во внимание, что численными методами и средствами овладел только человек, причем на самом позднем этапе своего развития, и пользуется ими при решении определенного, а не всего круга жизненно важных задач, то предпочтение следует отдать схеме переименования объектов, которая реализуема «нечисленными» методами и средствами и не только доступна всему живому, но и имеет свои физико-химические эволюционные предшественники.

В частности, основатели квантовой механики решили задачу переименования объектов и «различения неразличимого», введя специальную форму суперпозиции *различимых состояний*, в которых могут находиться *неразличимые* (тождественные) частицы и их ансамбли. Специфика квантовой суперпозиции и ее теоретико-множественного представления состоит в том, что переход от объединяемых множеств к их объединению регламентируется принципом Паули: у системы тождественных элементарных частиц с полуцелым спином (фермионов) каждое квантовое состояние может быть заполнено не более чем одной частицей, что и гарантирует *полную различимость по состояниям* всех элементарных частиц, принадлежащих объединению. При этом в объединении, как и в объединяемых множествах, отсутствует закрепление каждого электрона за единственным состоянием, и он считается распределенным по всем возможным состояниям.

Формально-логическую природу принципа Паули раскрыл П. Дирак [7]. Он исходил из того, что в операторе, описывающем переходы *ансамбля тождественных частиц* из одного состояния в другое, естественным образом присутствуют *перестановки* тождественных частиц по множеству возможных состояний, что не может быть подтверждено каким-либо наблюдаемым или измеряемым эмпирическим результатом.

Перестановки (говоря строго – подстановки) являются неотъемлемой частью оператора Гамильтона, описывающему движение квантовой системы из n частиц, каждая из которых является отдельной динамической системой с кет-векторами состояния $|a_i\rangle,|b_i\rangle, |c_i\rangle,\ldots,|g_i\rangle$ ($i=1,2,\ldots,n$).

Вектор состояния частиц в ансамбле, представляет собой произведение векторов, относящихся к каждой частице, и в частности:

(2) $\quad |a_1\rangle|b_2\rangle|c_3\rangle\ldots|g_n\rangle=|a_1b_2c_3\rangle\ldots g_n\rangle$

Если векторы $|a_i\rangle,|b_i\rangle, |c_i\rangle,\ldots,|g_i\rangle$ представляют собой совокупность базисных векторов для отдельных частиц, то и векторы (2) так же представляют собой совокупность базисных векторов, но уже для их ансамбля, и такое представление является *симметричным*, так как все частицы в нем рассматриваются на равных основаниях. Поэтому любая перестановка (транспозиция) любых двух частиц в ансамбле является линейным оператором, а произвольная совокупность транспозиций порождает перестановку, которая является результатом действия линейного оператора на вектор состояния всей системы частиц, который можно представить матрицей:

$$\begin{vmatrix} |a_1\rangle & |a_2\rangle & \dots & |a_n\rangle \\ |b_1\rangle & |b_2\rangle & \dots & |b_n\rangle \\ . & . & & . \\ |g_1\rangle & |g_2\rangle & \dots & |g_n\rangle \end{vmatrix},$$

каждый элемент которой характеризуется своей четверкой квантовых чисел, однозначно связанных со значением энергии.

Если какие-либо две строки (столбца) указанной матрицы совпадают или линейно зависимы, то ее детерминант тождественно обращается в нуль, что говорит о невозможности существования такой квантовой системы. Отсюда следует, что все наборы квантовых чисел должны быть разными и/или, как минимум, линейно независимыми, то есть условием *существования* любого атома или молекулы, рассматриваемых как ансамбль элементарных частиц, является отсутствие в них двух элементов в одном состоянии.

При этом следует иметь в виду, что принцип Паули *не раскрывает механизмы упорядочения* атомарных систем, он только указывает на их наличие.

Приведенные данные позволяют заключить, что *объединение* элементарных частиц в подмножества и подмножеств в множества неизбежно сопровождается расширением пространства состояний, что согласно принципу Паули и приводит к *переименованию* в исходных подмножествах идентичных состояний.

2 Логика атомарных переходов

При строгом рассмотрении системы взаимодействующих частиц, которые уже объединились в атомы, существуют только квантовые состояния всей системы в целом, отвечающие минимуму внутренней энергии. Тем не менее, понятие квантового состояния отдельной частицы атомарной системы справедливо в тех случаях, когда неизбежное взаимодействие между частицами можно заменить некоторым эффективным электромагнитным и гравитационным полем, что позволяет каждую частицу по-прежнему характеризовать индивидуальным набором квантовых чисел.

Такое одноэлектронное приближение позволяет раскрыть *логику упорядочения* химических элементов периодической системы Д. И. Менделеева, так как наличие в одном состоянии только одного электрона объясняет *последовательность заполнения* электронных оболочек при возрастании сложности атомарных структур. Эта же последовательность, но теперь уже прохождения электронных оболочек сохраняется и при возмущении атомов, так как переходные процессы в атомах не осуществимы без изменений их внутренней энергии, однозначно связанной с квантовыми числами n, l и m_l.

Структуру распределения электронов по известным в наше время 22 атомным орбиталям 1*s*, 2*s*, 2*p*, 3*s* и т. д. задает конфигурация нейтрального атома ***Ubp*** (унбипентия):

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 4f^{14} 5d^{10} 6p^6 7s^2 5f^{14} 6d^{10} 7p^6 8s^2 6f^4 7d^1$.

В ней верхние индексы задают предельные значения количества электронов в разложении $Z=\Sigma Z_\lambda$ на 22 слагаемых, где Z – общее количество электронов в атоме

Этой структуре атомных орбиталей соответствует *энергетическая упорядоченность* вида: $E_{1s}<E_{2s}<E_{2p}<E_{3s}<E_{3p}<E_{4s}<E_{3d}<E_{4p}<E_{5s}<E_{4d}<E_{5p}<E_{6s}<E_{4f} \cong E_{5d}<E_{6p}<E_{7s}<E_{5f} \cong E_{6d} <E_{7p}<E_{8s}<E_{6f}<E_{7d}$,

где символ ≅ означает «неоднозначность» отношения порядка между значениями энергии смежных орбиталей, благодаря чему нарушается порядок заполнения при не полной занятости предыдущей.

Такая пространственно-временна̀я и энергетическая упорядоченность позволяет с приемлемым качеством идентифицировать квантовые переходы в многоэлектронных атомах на основе анализа «макроскопических» спектров не всех, а только так называемых «оптических» электронов, которые расположены на «внешних» оболочках и при условии сохранения целостности атома, то есть при возмущениях меньших уровня ионизации исследуемого атома.

Сепаративные возможности спектроскопии ограничены тремя обстоятельствами:

– в атомных спектрах проявляются не все, а только разрешенные *правилами отбора* переходы между уровнями энергии, индивидуальные для отдельных атомов;

– для атомов с двумя или несколькими внешними электронами спектры значительно усложняются, что обусловлено взаимодействием электронов, которое не учитывается моделями линейной суперпозиции;

– действие внешнего магнитного или электрического поля не остается без последствий и приводит к расщеплению уровней энергии атома и соответствующему расщеплению спектральных линий Зеемана и Штарка.

Приведенные данные не дают оснований полагать, что *источником существования* квантовых систем служит *упорядоченность* находящихся в непрерывном движении элементов, которая сопряжена с минимальным значением энергии системы. Но их достаточно для того, чтобы считать, что такая упорядоченность является атрибутом релятивистских в своей основе синергетических (усилительных) эффектов, которые можно использовать не только для «макроскопической» идентификации экстремальных состояний атомов, отвечающих минимально или максимально возможным значениям измеримых параметров (соответственно в невозмущенном и возмущенном состоянии), но и для формирования управляющих воздействий, обеспечивающих переход квантовой системы из не экстремального в экстремальное состояние или из одного экстремального состояния в другое через не экстремальное.

3 Абстрактные представления переходов в динамических макросистемах.

Управление переходами в экстремальные состояния с использованием упорядочения взаимодействий состоятельно и в макросистемах, обладающих собственным внутренним движением, что характерно для коллективной деятельности людей, где обычно требуется снизить издержки и повысить коэффициент полезного действия индивидуума, каждое из которых имеет свою психофизиологическую и социальную *направленность*.

Чтобы корректно распространить квантовые парадигмы на неквантовые системы, требуется, как минимум, перейти:

– к расширенной трактовке «одновременности» событий, принадлежащих конечному временному интервалу;

– от канторовой теории множеств к теории нечетких множеств (*fuzzy sets theory – FST*) Л. Заде.

Расширенная трактовка «одновременности» событий в макроскопических динамических системах допустима, в частности, если:

– состояние неизбежно изменяется по периодическому закону: $A(t)=k(t-pT)$, $(p-1)T \le t < pT$, $p=1,2,\dots$, где $k=const$, $T=const$ – продолжительность цикла;

– за время одного цикла $0 \le t \le T$ системой вырабатывается или нас интересует только одна выходная реакция $F(x(t), A(t))$ на входное возмущение $x(t)$.

Последнее позволяет соотнести выходную реакцию $F(x(t), A(t))$ к моменту завершения времени цикла T, что позволяет ее представить в виде $F(x(p\,T), A(pT))$.

Концепция нечеткого множества (*fuzzy set – FS*) позволяет оперировать параметрами «точности измерений» и «строгости рассуждений», что актуально не только для квантовых, но и для трудно формализуемых систем и процессов, к которым в первую очередь можно отнести психофизиологические и социальные, где даже простейшие функции коммутации носят существенно неоднозначный характер.

Роль теории нечетких множеств в познавательной и прикладной деятельности человека возросла после того, как Барт Коско (*Bart Kosko*) доказал теорему [23] о нечеткой аппроксимации (*Fuzzy Approximation Theorem – FAT*), согласно которой любая математическая система может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике.

С познавательной точки зрения *FAT*:

а) восстановила статус естественного языка как абстрактного средства мышления, так как согласно этой теореме с помощью естественно-языковых высказываний и правил «если…, то…» и их последующей формализации средствами теории нечетких множеств, можно сколько угодно точно отразить произвольную связь «вход – выход», не прибегая к трудно интерпретируемому в психофизиологии и социологии аппарату дифференциального и интегрального исчислений, доминирующему в управлении и идентификации;

б) повысила строгость переходов не только от естественно-языковых высказываний к каноническим логико-математическим формам представления знаний, но и между неизбежными в своей основе переходами внутри канонических форм.

В цепочке взаимосвязанных форм представления знаний: канторово множество – булева алгебра – непрерывная логика – нечеткое множество (таблица 1) первые три по своей сути являются *предельными* (в некотором оговоренном смысле) по отношению к объектам и операциям нечеткой логики.

С чисто формальных позиций данные таблицы 1 говорят о том, что в теоретико-множественных представлениях знаний о материальных объектах и/или процессах в качестве аргументов и функций выступают *множества* элементов, а в логических – *значения истинности* исходных и результирующих *переменных*. В случае булевой алгебры аргументы и функции являются бинарными $a\in\{0,1\}$, а в случае непрерывной логики принадлежат единичному интервалу $a\in[0,1]$ действительных чисел. Благодаря этому непрерывная логика [24] оперирует высказываниями и их представлениями a, b, c… в той или иной мере истинными или ложными, а *численное значение истинности* результирующих высказываний присваивается минимаксными методами *выбора одного из значений истинности* исходных высказываний $v(a)$ или $v(b)$.

В таких условиях:

– обобщенной дизъюнкции соответствует выбор более истинного (менее ложного) высказывания $c(a,b)$ из двух возможных, который осуществляется по правилу: $a\vee b=max(v(a),v(b))$, то есть $c(a,b)=a$, если $v(a)>v(b)$, и $c(a,b)=b$ в противном случае;

– обобщенной конъюнкции соответствует выбор более ложного (менее истинного) высказывания $c(a,b)$ из двух возможных, который осуществляется по правилу: $a\wedge b=min(v(a),v(b))$, то есть $c(a,b)=a$, если $v(a)<v(b)$, и $c(a,b)=b$ в противном случае;

– обобщенному отрицанию $\neg a:=a$ соответствует *замещение* в некоторой мере истинного высказывания на высказывание в той же мере ложное и наоборот, которое выполняется по правилу соответствует, в рамках которого $v(\neg a)=1-v(a)$. Здесь (:=) – оператор присваивания.

Переход от канторовых «четких» множеств к «нечетким» множествам Л. Заде, по сути, представляет собой переход от однозначных и бинарных тестов проверки или контроля отношения принадлежности («принадлежит – не принадлежит»), а также присвоения переменным и результатам логического вывода («если…, то…») одного из бинарных значений «истина–ложь», к размытым переменным и операциям с неоднозначным результатом, что вносит свою специфику в *процедуры выполнения* самих операций.

Действительно, в основе теории нечетких множеств лежит представление о том, что составляющие их элементы обладают идентифицирующим свойством в различной степени и, следовательно, утверждение об их принадлежности данному множеству обладает различной степенью «убедительности», которую характеризует *функция принадлежности* (*membership function – MF*) элементов универсального множества $u\in U$ к нечеткому множеству $u\in\tilde{A}$. Функция принадлежности $\mu_A(u)$ определена для всех $u\in U$ и чем больше ее значение, тем в большей мере элемент универсального множества соответствует свойствам FS, которые лежат в основе теста проверки «отношения принадлежности».

Поэтому выполнение операций над нечеткими множествами регламентируется правилами формирования результирующей функции принадлежности из исходных:

а) *дополнением нечеткого множества* $\tilde{A}$, заданного на U, называется нечеткое множество
$\tilde{C} = U\backslash\tilde{A}$ с функцией принадлежности $\mu_C(u) = 1 - \mu_A(u)$ для всех $u \in U$;

б) *пересечением нечетких множеств* $\tilde{A}$ и $\tilde{B}$, заданных на U, называется нечеткое множество $\tilde{C} = \tilde{A} \cap \tilde{B}$ с функцией принадлежности $\mu_C(u) = \min(\mu_A(u), \mu_B(u))$ для всех $u \in U$;

в) *объединением нечетких множеств* $\tilde{A}$ и $\tilde{B}$, заданных на U, называется нечеткое множество $\tilde{C} = \tilde{A} \cup \tilde{B}$ с функцией принадлежности $\mu_C(u) = \max(\mu_A(u), \mu_B(u))$ для всех $u \in U$.

Операции нечеткого пересечения и объединения допускают различные правила формирования функций принадлежности (таблица 2), что приводит к различным результатам (рисунки 1 и 2).

Таким образом, *FST* позволяет использовать широкий спектр достаточно тонких методов адаптации операций над множествами для поиска адекватных представлений объектов и процессов. Более того, чтобы отличить *объекты* от их *представлений* в *FST* используют лингвистические переменные (*linguistic variable*), значениями которых могут быть слова или словосочетания некоторого естественного или искусственного языка. Лингвистическая переменная определена на терм-множестве своих значений, каждый элемент (*терм*) которого формализуется с помощью функции принадлежности.

Таблица 1. Сводная таблица базовых операций различных формально-логических представлений знаний о материальных объектах и процессах

Канторово множество			Булева алгебра		
Операция	Обозначение	Лингвистическая форма	Операция	Обозначение	Лингвистическая форма
Пересечение множеств (произведение)	$C = A \cap B$	В пересечение *C* входят те и только те элементы, которые принадлежат одновременно *A* и *B*	Конъюнкция	$c = a \wedge b$	Результирующая переменная *c* равна «1», если обе входные переменные равны «1», и равна «0» в противном случае
Объединение множеств (сумма)	$C = A \cup B$	В объединение *C* входят те и только те элементы, которые принадлежат хотя бы одному из множеств *A* или *B*	Дизъюнкция	$c = a \vee b$	Результирующая переменная *c* равна «0», если обе входные переменные равны «0, и равна «1» в противном случае
Разность множеств	$C = A\backslash B$	В разность *C* входят те и только те элементы множества *A*, которые не принадлежат множеству *B*	–	–	–
Дополнение к множеству *A*	$\neg A = U\backslash A$	В дополнение входят те и только те элементы, которые не принадлежат множеству *A*, то есть дополняют его до универсального множества U	Отрицание	$a' = \neg a$	Результирующая переменная всегда принимает значение, противоположное исходной
Симметрическая разность (кольцевая сумма)	$C = A \oplus B$	В симметрическую разность *C* входят те и только те элементы, которые принадлежат одному из множеств: *A* либо *B*, но не являются общими	Неравнозначность, условная инверсия	$c = (a \oplus b) = (a \wedge \neg b) \wedge (\neg a \wedge b)$	Результирующая переменная *c* равна *a*, если *b*=0, и она равна $\neg a$, *если b*=1
Непрерывная логика			Нечеткое множество Л. Заде		
Операция	Обозначение	Лингвистическая форма	Операция	Обозначение	Лингвистическая форма
Конъюнкция	$c = a \wedge b$	Результирующей переменной *c* присваивается значение исходной переменной,	Пересечение нечетких множеств $\tilde{A}$ и $\tilde{B}$	$\tilde{C} = \tilde{A} \cap \tilde{B}$	Нечеткое множество $\tilde{C}$ с функцией принадлежности, представляющей собой

		удовлетворяющее условию min(a,b)			минимум из функций составляющих
Дизъюнкция	$c=a \vee b$	Результирующей переменной c присваивается значение исходной переменной, удовлетворяющее условию max(a,b)	Объединение нечетких множеств $\tilde{A}$ и $\tilde{B}$	$\tilde{C} = \tilde{A} \cup \tilde{B}$	Нечеткое множество $\tilde{C}$ с функцией принадлежности, представляющей собой максимум из функций составляющих
Отрицание	$a' = \neg a$	Результирующей переменной присваивается дополнение исходной переменной до максимального значения 1– a	Дополнение нечеткого множества $\tilde{A}$	$\overline{\tilde{A}} = U \backslash \tilde{A}$	Нечеткое множество $\overline{\tilde{A}}$ с функцией принадлежности, дополняющей до единицы исходную
Неравнозначность	$c=(a \oplus b)=(a \wedge \neg b) \wedge (\neg a \wedge b)$	Результирующей переменной c присваивается максимальное значение из двух минимальных значений исходных пар min(a,¬b) и min(¬a,b)	Дизъюнктивная сумма нечетких множеств $\tilde{A}$ и $\tilde{B}$	$\tilde{C} = \tilde{A} \oplus \tilde{B} = (\tilde{A} \cap \overline{\tilde{B}}) \cup (\overline{\tilde{A}} \cap \tilde{B})$	Нечеткое множество $\tilde{C}$ с функцией принадлежности, представляющей собой максимум из функций принадлежности, каждая из которых является минимум функций принадлежности для пар $(\tilde{A}, \overline{\tilde{B}})$ и $(\overline{\tilde{A}}, \tilde{B})$

Таблица 2. Правила формирования результирующих функций принадлежности

Операция	По Заде	Вероятностная	По Лукасевичу
Пересечение	$c=min(a,b)$	$c=ab$	$c=max\ (a+b-1)$
Объединение	$c=max(a,b)$	$c=a+b-ab$	$c=min(a+b,1)$

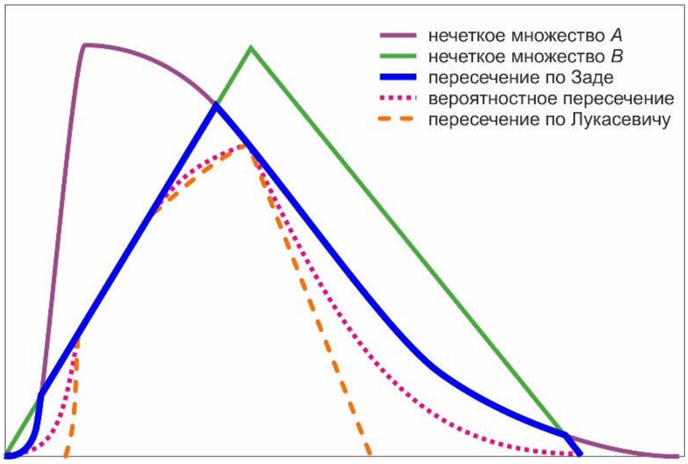

Рис. 1. Пересечение нечетких множеств с использованием различных t-норм (заимствовано из [25])

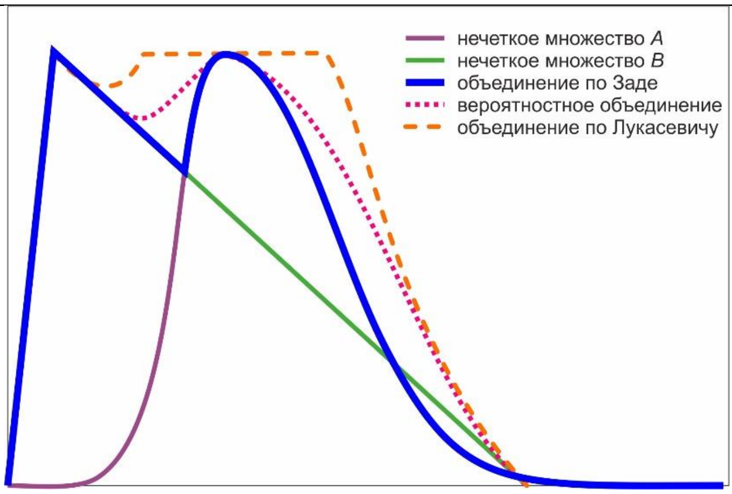

Рис. 2. Объединение нечетких множеств с использованием различных s-норм (заимствовано из [25])

Для описания поведения всей системы «квантовый объект – макроизмеритель» требуется осуществить переход от квантовых к макрообъектам, то есть переход от нечетких к четким множествам, который в *FST* называется *дефаззификацией (defuzzification – повышение четкости)*, то есть преобразованием *FS* в четкое число.

Простейший способ дефаззификации – это выбор четкого числа, соответствующего максимуму функции принадлежности, что корректно для *MF* с одним экстремумом. Для дефаззификации *FS* с многоэкстремальными *MF* можно использовать: *centroid* – центр тяжести, *bisector* – медиану, *LOM (Largest Of Maximums)* – наибольший из максимумов, *SOM (Smallest Of Maximums)* – наименьший из максимумов, *Mom (Mean Of Maximums)* – центр максимумов, что характерно для ранговой фильтрации, обладающей высокими робастными свойствами.

Распространение методов *FST* на познавательную сферу деятельности человека требует использования *нечеткой базы знаний (fuzzy knowledge base)* о влиянии факторов $X=\{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ на значение параметра y, основу которой образуют логические высказывания типа «если…, то …». В терминах *FST* такие логические конструкции можно представить в виде

$$\bigcup_{p=1}^{k(j)}[\bigcap_{i=1}^{n}(x_i = a_i^{j(p)})] \rightarrow y = d_j, j = \overline{1,m},$$

где: $a_i^{j(p)}$ – нечеткий терм, которым оценивается переменная x_i в строчке с номером $j(p)$, $p = \overline{1, k(j)}$;

$k(j)$ – количество строчек-конъюнкций, в которых результат y оценивается нечетким термом d_j, $j = \overline{1,m}$;

m – количество термов, используемых для лингвистической оценки выходного параметра y.

Вершиной формализмов нечеткой теории множеств и нечеткой логики можно считать представление о *нечетком логическом выводе (fuzzy logic inference)*, под которым понимается аппроксимация зависимости $y=f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ с помощью нечеткой базы знаний и операций над нечеткими множествами, причем четкое значение выхода y, соответствующее входному вектору X можно определить в результате дефаззификации *FS* $\tilde{y}$. С учетом теоремы Коско [23] потенциал такого логического вывода составляет основу развития *технологий знаний*, но, к сожалению, это факт не редко используется как доказательство «неограниченных» возможностей искусственного интеллекта во всех приложениях естественного интеллекта. При этом либо упускается из виду, либо в спекулятивных целях игнорируется тот факт, что конструкции «если …, то…» только *представляют* в одной из рассмотренных форм причинные связи между X и y, а установление *представляемых* причинных связей между материальными объектами и процессами относится к прерогативам естественного интеллекта, в основе которого лежит *предметное*, *эмпирическое* знание [3], порождающее, как минимум, шкалы наименований и порядков.

Выводы

1. Успех идентификации состояний квантовых систем с помощью макроскопических измерительных систем во многом определяет наши взаимодействия с «крупномасштабными» физическими системами во всем диапазоне структур от атомарных и до астрофизических, причем сам успех определяется не детерминацией поведения первых и не достижением квантовых пределов точности и чувствительности вторых: в процессе идентификации *и познаваемый, и познающий* (биогибридный) объект должен оставаться и остается «самим собой», то есть стохастическим, а точность и чувствительность макроскопических измерительных систем пока далека от квантовых пределов.

2. Успешная идентификация состояний квантовых систем, которая является отправным пунктом жизнедеятельности, обусловлена *упорядоченностью*:

а) изменений движения неразличимых элементарных частиц, благодаря которой их реакция на одно и то же макроскопическое возмущение приводит к сугубо индивидуальным изменениям их внутреннего движения, которые в равной степени подчинены одним и тем же законам квантовой механики;

б) «восприятия» сугубо индивидуальных изменений внутреннего движения каждой элементарной частицы, благодаря чему максимизируется сумма «слабых» квантовых изменений, которая и формирует макроскопический измеряемый параметр, что нами интерпретируется как сугубо синергетический эффект.

3. Синергетический эффект упорядочения движением макроскопических частиц и «тел», характерный для аэро- и гидродинамических, молекулярно-биологических, психофизиологических и социальных систем, является эффективным средством максимизации коэффициента использования потенциала собственного движения их компонент и минимизации издержек за счет создания предпосылок для формирования *ламинарных* (в обобщенном смысле) потоков по функционально значимым параметрам движения и *турбулентностей* для неизбежных паразитных взаимодействий между их компонентами. При этом сами взаимодействия между элементами систем и самими системами остаются подчиненными объективным законам движения и самоорганизации в аэро- и гидродинамике, молекулярной биологии, психофизиологии и социологии.

4. Методы и средства теории нечетких множеств позволяют в едином операционном базисе представить упорядоченные процессы в экстремальных динамических системах, протекающие практически во всем диапазоне материальных взаимодействий, начиная с квантовых и заканчивая мыслительными. При этом само упорядочение выступает только как необходимое условие получения экстремальных значений параметров взаимодействий, которые подчинены законам и закономерностям соответствующих материальных сред. Поэтому методы и средства управления экстремальными витасистемами через упорядочение взаимодействий их компонент могут только дополнить методы и средства управления классической кибернетики, основанные на прямых материальных взаимодействиях и причинных связях, а для распространения квантовых парадигм на неквантовые системы требуется, как минимум, расширить трактовку понятия «одновременность» событий.

Литература

1. *Алакоз Г.М., Аюпов А.И., Пляскота С.И. и др.* Витасистемы: модели инженерного творчества. — М.: «Дашков и К°», 2015. — 446 с.

2. *Ayupov A. I., Alakoz G. M., Plyaskota S. I., Bydanova E. N*. Vitasystems theory for aircraft industry development // Int. J. System of Systems Engineering, Vol. 9, No. 4, 2019, pp. 362–370.
3. *Сеченов И. М.* О предметном мышлении с физиологической точки зрения //Избранные философские и психологические произведения: – М.: Государственное издательство политической литературы, 1947, с.375–384.
4. *Николис Г., Пригожин И.* Самоорганизация в неравновесных системах /Пер. с англ. – М.: Мир,1979, 512 с.
5. *Эйген М.* Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. /Пер. с англ. –М.: Мир,1973, 223 с.
6. *Опарин А. И.* Жизнь, ее соотношение с другими формами движения материи //О сущности жизни. – М.: Наука, 1964, с. 8–34.
7. *Дирак П. А. М.* Принципы квантовой механики /Пер. с англ. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1979, 481 с.
8. *Френкель А. А., Бар-Хиллел И.* Основания теории множеств /Пер. с англ. – М.: Мир, 1966, 557 с.
9. *Рэфф Р., Кофмен Т.* Эмбрионы, гены и эволюция /Пер. с англ. – М.: Мир, 1986, 402 с.
10. *Berlucchi I.* The origin of the term plasticity in the neurosciences: Emesto Lygaro and chemical synaptic transmission //J. Hist. Neurosci., 2002, v. 11, p. 305–309.
11. *Анохин П. К.* Системогенез как общая закономерность эволюционного процесса //Бюлл. эксперим. Биол. Мед., 1948, т. 26, №8, с. 81–99.
12. *Судаков К. В*. Системогенез поведенческого акта //Механизмы деятельности мозга, – М., 1979, с.88–89.
13. *Швырков В.Б.* Нейрональные механизмы обучения как формирование функциональной системы поведенческого акта //Механизмы системной деятельности мозга, Горький, 1978, с.147–149.
14. *Анохин П. К.* Молекулярные сценарии консолидации долговременной памяти //Журн. Высш. Нерв. Деят., 1997, т.47, №2, с. 261–286.
15. *Роуз С.* Устройство памяти. От молекул к сознанию. /Пер. с англ. – М.: Мир, 1995, 384 с.
16. *Шерстнев В.В.* и др. Гетерохрония участия нейрофизиологических факторов и нейрохимической организации процессов обучения и памяти в зрелом организме //Росс. Физиол. журн., 2001, т.87, №6, с.752–761.
17. *Шерстнев В.В.* и др. Апоптоз в зрелом мозге при формировании нового поведенческого навыка //Нейрохимия, 2006, т.23, №3, с.1–6.
18. *Шерстнев В.В.* Концепция системогенеза и современное видение единства процессов развития и интегративной деятельности //Восьмые Анохинские чтения. – М., 2007, с. 5–22.
19. *Михайлов А. С.* Теоретико-множественная интерпретация работы интеллектуальных машин С.Н. Корсакова //Нейрокомпьютеры: разработка, применение. Из-во «Радиотехника», №8, 2015, с. 65–73.
20. *Колмогоров А. Н.* О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиции непрерывных функций одной переменной и сложения //Докл. АН СССР, 114:5 (1957), с. 953–956.
21. *Балухто А. Н.* Нейросетевые системы обработки информации и их применение в космической технике: – М.: СИП РИА, 2000, 152 с.
22. *Владимиров В.С., Волович И.В, Зеленов Е.И.* Р-адический анализ и математическая физика. М.: Физматлит, 1994. 352 с.
23. *Kosko B.* Fuzzy systems as universal approximators // IEEE Transactions on Computers, vol. 43, No. 11, November 1994. – pp. 1329-1333.
24. *Гинзбург С. А.* Математическая непрерывная логика и изображение функций. – М.: Энергия, 1968, 136 с.
25. Студопедия. Операции над нечеткими множествами. https://studopedia.ru/21_101898_operatsii-nad-nechetkimi-mnozhestvami.html. 10/06/2020/