



Международный междисциплинарный семинар

АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ И ТЕОРИЯ СИСТЕМ

13 февраля 2020 года

14-00

г. Москва, ул. Моховая д.11 стр.4

Черноиванов В.И., Судаков С.К., Толоконников Г.К. БИОМАШСИСТЕМЫ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И КАТЕГОРНАЯ ТЕОРИЯ СИСТЕМ.

Биомаши́стемы как обобщение человеко-машинных (эргатических) систем. С усложнением машин возрастают требования к управляющему ими человеку-оператору. С середины прошлого века было осознано, что дальнейшее развитие эффективной техники невозможно без решения проблемы взаимодействия человека и машины. Возникла инженерная психология с ее вниманием к человеческому фактору, эргатические системы, крайне обширная область системных подходов к паре «человек-машина». Наибольшей глубиной здесь выделяются применения теории функциональных систем к указанной паре. Постепенно нарастала, становясь значимой и востребованной, проблема взаимодействия уже в триаде «человек-машина-животное», включающей, в частности, производство растений и продуктивных биомасс в сельскохозяйственной отрасли. Практика показала недостаточность подходов эргатических систем для указанной триады. Возникает теория биомаши́стем [1], впитавшая в себя огромный накопленный опыт эргатических систем и ключевые позиции теории функциональных систем, прежде всего, понятие системообразующего фактора, принципы изоморфизма и иерархии по П.К.Анохину-К.В.Судакову. Теория биомаши́стем выдвигает ряд новых принципов, прежде всего необходимость акцентирования внимания на связях между подсистемами, позволившее выявить значительные резервы агропроизводства, а также предлагает новые типы решателей (биоблок, блок Поста), реализующие важный шаг на пути создания сильного искусственного интеллекта. Важнейшим атрибутом биомаши́стем является необходимость формализации во многом интуитивных системных представлений различных подходов для обеспечения проектирования и производства машин и механизмов, реализация которых без строгих математических методов невозможна. Серьезный акцент на указанные связи и формализацию выводит на востребованность возникшей в результате категорной теории систем, в основе которой как и вообще в теории категорий лежит изучение морфизмов при этом язык теории категорий оказывается адекватным общему системному подходу.

Теория функциональных систем от физиологии до других отраслей: производства, искусства и социальных институтов. Теория функциональных

систем зародилась и начала эффективно применяться в нейрофизиологии П.К.Анохиным и его сотрудниками уже в начале 1930-х годов [2], включала в себя ставшие знаменитыми принцип обратной связи и кибернетический подход, выдвинутый основателем кибернетики Норбертом Винером. Отдавая должное великому математику, следует упомянуть, что приоритет П.К.Анохина здесь был публично признан Винером на конгрессе в Москве. Грандиозный труд по перестройке всей физиологии человека и живых организмов с органного подхода на фундамент теории функциональных систем, начатый П.К.Анохиным и после него продолженный под руководством К.В.Судакова, хотя и был завершен в основном к началу текущего столетия, но ряд глубоких проблем еще остаётся и их предстоит решать физиологам. Один из примеров подобных глубоких проблем состоит в определении составной природы акцептора результата действия функциональной системы, поиска биохимических механизмов опережающего подкрепления, эта проблема недавно решена [3], о чем рассказывается в докладе. В последние годы П.К.Анохин начал писать об общей теории систем [2], распространять столь успешный в физиологии подход на производство, искусство, социальную сферу, поставил и начал решать задачу развития и применения общей теории функциональных систем, одной из сложных подзадач которой является адекватная формализация заложенных им системных принципов. Если выделить этапы развития теории функциональных систем, то можно говорить о начальном этапе формирования теории, этапе перевода физиологии и медицинской науки с органного подхода на рельсы теории функциональных систем и о начале третьего этапа развития и применения общей теории функциональных систем к различным отраслям науки, производства и культуры. Попытки необходимой для применений теории функциональных систем к проектированию машин и механизмов и искусственному интеллекту, формализации, начатой самим П.К.Анохиным, привели к категорной теории систем [4,5], в рамках которой найдены, в частности, ответы на вопросы о взаимодействии теории функциональных систем с математической теорией систем и формализованной частью теории биомашсистем. Стоит отметить, что полная формализация глубоких интуитивных теорий, таких как теория функциональных или биомашсистем, по-видимому, невозможна, раз уже сама математика, как показал Брауэр, оказывается неформализуемой. Как показывает история науки, можно лишь утверждать, что, тем не менее, необходимы поиски формализации наиболее адекватно отражающей сущность интуитивной теории. Ярким примером этому в математике является интуиционистская логика, оказавшаяся не менее полезной, чем классическая логика Аристотеля. Как надеются авторы доклада, категорная теория систем играет роль наиболее адекватной, хотя и неполной формализации теории функциональных систем, приведённой П.К.Анохиным в последних работах к общей теории функциональных систем.

Категорная теория систем. Системные принципы, обоснованные П.К.Анохиным на интуитивном уровне [2,6], сводятся к формированию (изучению) системы в процессе от целого к частям, наличию системообразующего фактора с достаточными ресурсами для создания на его основе самой системы, принципам изоморфизма и иерархии. Имея в начале

лишь системообразующий фактор, мы не знаем частей будущей системы, поэтому теоретико-множественная парадигма, в рамках которой без заранее известных элементов невозможно построить множество (вместе со всей теоретико-множественной математикой - вещественными числами, интегралами, матрицами и т.п.), не годится для теории систем, основывающейся на постулатах П.К.Анохина. Формирование системообразующего фактора опирается на связи будущей системы с существующими системами, а как показывает практика теории категорий, язык которой оказался адекватным системному языку, по морфизмам (связям) будущего объекта-системы с другими объектами категории этот объект может быть полностью восстановлен (построен) вместе со своим содержимым. По-видимому, наиболее ярким примером подобного построения является теория топосов, предоставляющая также новые универсумы для систем, помимо привычной теории множеств. Таким образом, наличие системообразующего фактора и требования построения системы в процессе перехода от целого к частям приводит к использованию глубоко развитого категорного языка и самой теории категорий [7]. Выход в категорную теорию систем необозримо расширяет возможности строгого математического моделирования таких сложных систем как мозг человека, формализация ментальной деятельности которого лежит в основе серьёзных моделей сильного искусственного интеллекта. Например, возникает возможность моделирования отдельных нейронов в виде полистрелок поликатегории с различными их связями между собой, формализуемыми свёртками свёрточных поликатегорий и их высших аналогов. Интуитивно сформулированные П.К.Анохиным принципы изоморфизма и иерархии в категорной теории систем получают свою естественную формализацию вместе с теми свойствами общих систем в отношении этих принципов, которые в своих поздних работах обсуждает П.К.Анохин. Сам системообразующий фактор также находит естественную формализацию в виде соответствующих ему функтора и свёрток полиграфов, с помощью которых отдельные системы преобразуются, становясь подсистемами, в целостную систему, отвечающую этому системообразующему фактору. Если говорить об известных существующих системных подходах, опирающихся на строгие математические обоснования, то они имеют естественные модели в категорной теории систем, которая охватывает также нелогистические модели, например, включает описание известного подхода С.Ю.Маслова-В.Н.Пушкина к моделированию работы мозга при решении творческих задач. Как надеются авторы доклада, категорные системы, современные версии биомашсистем и функциональных систем, в особенности, их категорные аналоги, безусловно, найдут дальнейшее использование в современном системном движении, включая приложения в науке, производстве и больших общественных системах [8].

Литература к докладу

1. Черноиванов В.И. Биомашсистемы: возникновение, развитие и перспективы. *Биомашсистемы*, 2017, Т1. №1. 7-58.
2. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем, Принципы системной организации функций. М.: Наука, 1973, С. 5-61.

3. Судаков С.К. Двухкомпонентная структура акцептора результата действия в функциональной системе поведенческого акта, *Биомашсистемы*, 2018. Т.2. №1. С. 118-126.

4. Толоконников Г.К. Математическая категорная теория систем, *Биомашсистемы*. Теория и приложения. под ред. Черноиванова В.И., Т. 2. 2016. М., Росинформагротех, С. 22-114.

5. Черноиванов В.И., Судаков С.К., Толоконников Г.К. Категорная теория систем, функциональных систем и биомашсистем, части 1 и 2, Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции «Нейроинформатика 2017», т.2, стр.131-147.

6. Черноиванов В.И., Судаков С.К., Толоконников Г.К. Теория функциональных систем в контексте общего системного подхода, 2018, *Биомашсистемы*, 2018. Т.2. №1. С.6-99.

7. Толоконников Г.К. Неформальная категорная теория систем, *Биомашсистемы*, 2018, Т.2, №4, С. 41-144.

8. Tolokonnikov G.K., Chernoi Ivanov V.I., Sudakov S.K., Tsoi Y.A. Systems Theory for the Digital Economy, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, V. 1127, 2020, International Symposium on Computer Science, Digital Economy and Intelligent Systems, 4-6 October 2019, Moscow, Conference proceedings CSDEIS 2019, pp. 159-171, https://doi.org/10.1007/978-3-030-39216-1_41.

**Петухов С.В., Толоконников Г.К.
АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ
И СИСТЕМЫ МАТРИЧНОЙ ГЕНЕТИКИ.**

Под алгебраической биологией понимается алгебраическое моделирование структурной организации генетических алфавитов ДНК/РНК и наследуемых биологических структур, несущих на себе печать этой алфавитной структуризации. Данное научное направление тесно связано с “грамматикой биологии”. Оно исходно концентрирует внимание на бинарно-оппозиционном алфавитном строении молекул ДНК и РНК, выводящем на тензорные семейства специальных матриц, называемых генетическими [1]. В данное семейство, в частности, входит (8*8)-матрица 64 триплетов, в которой кодируемые ими 20 аминокислот и стоп-кодона белкового синтеза размещаются алгебраически закономерным образом, связанным с особыми матрицами, известными в теории помехоустойчивого кодирования информации и алгебре.

Это свидетельствует в пользу того, что генетический код представляет собой не просто сопоставление одного набора элементов другому набору по типу, например, телефонной книги, в которой номера телефонов кодируют фамилии людей; но что генетический код по своей сути является алгебраическим кодом, похожим на те алгебраические коды, которые используются в помехоустойчивой передаче информации в космической и иной связи. Эти и другие полученные данные свидетельствуют в пользу того, что живые организмы являются алгебраически кодированными сущностями.

Живые организмы - информационные структуры, в которых все подчинено задаче передать генетическую информацию по наследству. Все наследуемые

физиологические системы в составе целостного организма должны быть структурно сопряжены с генетическим кодом для передачи потомкам в закодированном виде, а потому могут нести на себе печать алгебраически закономерной алфавитной организации молекул ДНК и РНК. В докладе представляются некоторые из имеющихся свидетельств наличия этой алгебраической генетической печати на биоструктурах, наследуемых из поколения в поколение и представленных:

- в законах филлотаксиса (по работам О.Я.Боднара [2]);
- в пространственно-временной организации управления локомоциями у животных и человека (по работам В.В.Смолянинова [3]);
- в основном психофизическом законе Вебера-Фехнера;
- в законе Менделя наследования признаков;
- в основном законе генетики популяций Харди-Вайнберга, связанном с биномом Ньютона;
- в правилах процентного состава водородных связей 3 и 2 в ДНК геномов высших и низших организмов;
- в аналогичных правилах процентного состава двух фонетических групп букв русского алфавита в длинных текстах (на примере романов Толстого, Достоевского, Пушкина и др.).

Эти примеры заставляют вспомнить результаты Г.Менделя, который показал, что, несмотря на исключительную гетерогенность строения живых тел из мириадом разных молекул с их стохастическими и квантово-химическими особенностями, передача наследственных признаков подчиняется определенным алгебраическим соотношениям. Основоположники квантовой механики П.Йордан и Э.Шредингер отмечали главное отличие между живыми и неодушевленными объектами: неодушевленные объекты управляются средним случайным движением их миллионов частиц, тогда как в живом организме избранные – генетические - молекулы обладают диктаторским влиянием на весь живой организм [4].

Названные выше матричные представления алфавитов ДНК и РНК выводят на связь с матрицами из теории резонансов колебательных систем со многими степенями свободы. Это дает основание полагать, что алгебраические особенности генетической системы и наследуемых физиологических структур опираются на резонансные взаимодействия биомолекул (концепция мультирезонансной генетики [5]), что перекликается с мыслями Л.Поллинга о важности резонансных взаимодействий в биохимических структурах.

В докладе обсуждаются возможности осмысления и расширения результатов исследований в области систем алгебраической биологии с позиций современной категорной теории систем как общей математической теории. В частности, рассматриваются возможности классификации алгебро-биологических структур в свете этой категорной теории.

Каждая наука, выделяясь из общего направления научных исследований, имеет свой предмет и методы. Примерами этого могут являться такие математические науки как алгебраическая геометрия и алгебраическая топология. Свой предмет и методы приобрела и алгебраическая биология, опирающаяся на предшествующую ей матричную генетику с ее интенсивным

использованием тензорных произведений матриц, систем дважды стохастических матриц и матричных представлений гиперкомплексных чисел для анализа информационных основ всего живого в виде кодов ДНК и РНК.

Литература к докладу

1. Петухов С.В. *Матричная генетика, алгебры генетического кода, помехоустойчивость*. М., РХД, 2008, <http://petoukhov.com/matrix-genetics-petoukhov-2008.pdf>
2. Боднар О.Я. (1992). Геометрия филлотаксиса. *Доклады Академии наук Украины*, №9, с. 9-15.
3. Смолянинов В.В. (2000). Пространственно-временные проблемы управления локомоциями. *Успехи физических наук*, т. 170, № 10, с. 1063–1128.
4. McFadden J., Al-Khalili J. (2018). The origins of quantum biology. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 12.12.2018. <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspa.2018.0674>.
5. Petoukhov S.V. (2016 January). The system-resonance approach in modeling genetic structures. *Biosystems*, v. 139, pp.1-11. http://petoukhov.com/PETOUKHOV_ARTICLE_IN_BIOSYSTEMS.pdf