

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ/HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/BIO.2025.7.2>

ОБЩАЯ СИСТЕМНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И ПАТОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Научная статья

Толоконников Г.К.^{1,*}

¹ ORCID : 0000-0002-5382-886X;

¹ Федеральний научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (admCit[at]mail.ru)

Аннотация

Функциональные системы по П.К. Анохину относятся к нормальной физиологии, здоровому организму и имеют в качестве системообразующего фактора полезный для организма результат. Тем не менее аппарат теории функциональных систем полезен для организмов с патологиями и для патологических систем по Г.Н. Крыжановскому, хотя взаимоотношение этих подходов не получило системного теоретического описания, проблема поиска которого поставлена, в частности, в работах К.В. Судакова, посвященных изучению вопросов рассогласования функциональных систем. Данная работа предлагает в качестве решения этой проблемы платформу разрабатываемой автором теории категорных систем, естественным образом описывающих указанные системы и их взаимоотношения.

Ключевые слова: функциональные системы, физиология человека, категорные системы, патологические системы.

A COMMON SYSTEM PLATFORM FOR FUNCTIONAL AND PATHOLOGICAL SYSTEMS

Research article

Tolokonnikov G.K.^{1,*}

¹ ORCID : 0000-0002-5382-886X;

¹ Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (admCit[at]mail.ru)

Abstract

Functional systems according to P.K. Anokhin relate to normal physiology, healthy organism, and have a beneficial effect on the organism as a system-forming factor. Nevertheless, the apparatus of the theory of functional systems is useful for organisms with pathologies and for pathological systems according to G.N. Kryzhanovskiy, although the relationship between these approaches has not received a systematic theoretical description, the problem of finding which is posed, in particular, in the works of K.V. Sudakov, devoted to the study of issues of functional system discordance. This work suggests a solution to this problem in the form of a platform developed by the author's theory of categorical systems, which naturally describes these systems and their relationships.

Keywords: functional systems, human physiology, categorical systems, pathological systems.

Введение

Наиболее глубокий системный подход в физиологии человека реализует теория функциональных систем П.К. Анохина [1], получившая значительное развитие в работах К.В. Судакова (нередко и вполне заслужено называемой по имени П.К. Анохина — К.В. Судакова) и их школы. Однако функциональные системы относятся к нормальной физиологии, здоровому организму и имеют в качестве системообразующего фактора полезный для организма результат. Тем не менее аппарат функциональных систем полезен в медицине для пациентов с различными патологиями и, вообще, для патологических систем по Г.Н. Крыжановскому [2], строившему теоретическую медицину. Взаимоотношение этих подходов не получило системного теоретического описания, проблема поиска которого поставлена, в частности, в работах К.В. Судакова [3, С. 104], посвященных изучению вопросов рассогласования функциональных систем.

Данная работа предлагает в качестве решения этой проблемы платформу теории категорных систем, развиваемых автором [4], [5] естественным образом описывающих указанные системы и их взаимоотношения.

Статья носит теоретический характер, в ней применяются методы и принципы системного подхода, близкие к общей теории систем с моделями и примерами, связанными как с нормальной физиологией, так и с патофизиологией человека.

Основные результаты

Бурное развитие системного подхода началось с работ Л. Бергаланфи в шестидесятые годы прошлого века и было инициировано в основном изучением сложных систем в биологии. Однако наиболее глубокий подход в теории систем и общей теории систем был заложен в начале тридцатых годов прошлого века Пётром Кузьмичем Анохиным в теории функциональных систем [1]. Теория функциональных систем посвящена здоровым организмам и в качестве системообразующего фактора имеет полезный результат для организма. Отдельные направления близкие теории функциональных систем развивались Н.А. Бернштейном в теории локомоции [6] и, что нам важно в этой статье, в работах Г.Н. Крыжановского [2], посвящённых созданию теоретической медицины.

Перечисленные подходы носят весьма интуитивный характер. Необходимые для более точных выводов их формализации не были построены до работ автора, начавшихся с разработки категорной модели теории

функциональных систем. Формализация вызвана потребностями в точных расчётах для систем, включающих машины, таких как эргатические системы «человек-машина» и в дальнейшем для биомашсистем, основанных на триаде «человек — машина — продуктивное живое», как наиболее часто встречающихся типов систем в аграрном производстве [7]. Взаимоотношения теории функциональных систем, биомашсистем и категорных систем достаточно детально изучаются в работах С.К. Судакова, В.И. Черноиванова и автора [8], [9], [10], [11], [12].

Проясним по аналогии с математикой, почему мы считаем теорию функциональных систем П.К. Анохина наиболее глубокой системной наукой на фоне многих десятков системных подходов как в биологии, так и в других отраслях знания. До середины прошлого века в математике акцент делался на отдельные математические объекты группы, поля, функциональные пространства, в середине века появилась теория категорий, которая во главу угла поставила не сами объекты, а связи между ними, морфизмы или стрелки. С появлением теории топосов математика была перестроена с теоретико-множественной платформы на категорную, являющуюся основным языком современных математических исследований. Если мы посмотрим на теорию функциональных систем Пётра Кузьмича Анохина, то мы увидим, что функциональная система является некоторым аналогом морфизма или стрелки, переводящей текущее состояние организма в состояние, которое соответствует системообразующему фактору, то есть состояние с достигнутым полезным результатом. Сама функциональная система по его задумке представляет собой некоторые механизмы, можно сказать, алгоритм, переводящий организм из одного состояния в другое. Детализация этого наблюдения проведённая в работах автора выявляет суть подхода П.К. Анохина, именно, как категорного подхода к многочисленным системам, рассматриваемым другими авторами.

В наших работах развивается категорная теория систем, одним из постулатов (назовем его здесь *первым постулатом*) которой является системная парадигма. По аналогии это понятие можно осмыслить опираясь на общеизвестную теоретико-множественную парадигму, лежащую в основе обычного математического образования, начиная со школы и кончая ВУЗ-ом: все понятия функция, матрица, интеграл, число так или иначе сводятся к множествам и их подмножествам. Известный фундаментальный курс теории множеств Н. Бурбаки, состоящий из многих десятков томов, ещё с довоенных времён стал обоснованной платформой теоретико-множественной парадигмы.

За *второй постулат* категорной теории систем взято усиление постулата теории функциональных систем о том, что всякая система определяется системообразующим фактором, целью, задачей или полезным результатом для организма в нормальной физиологии. При изучении систем надо в первую очередь выявить её системообразующий фактор, возникновение системы происходит из системообразующего фактора, который может порождаться самим организмом или, как это делалось, например, в сетевых графиках, формулироваться человеком, как цель производства. В категорной теории систем на системообразующий фактор не накладывается ограничений, например, быть результатом или полезным результатом, что позволяет рассматривать модели с различной реализацией системообразующего фактора. Итак, согласно системной парадигме все объекты как физические, так и ментальные моделируются не множествами, а системами и их совокупностями.

Указанное усиление постулата связано с математикой, формализующей категорные системы с помощью категорного языка склеек и свёрточных поликатегорий. Ввиду интуитивного характера традиционного изложения теории функциональных систем это усиление не находит там адекватной формулировки. Для указанной формулировки в неформальном варианте необходимо системное рассмотрение понятия науки и теории её предмета изучения. Достаточное уточнение понятия «теория» можно взять из [11]. Здесь мы приведём следующее.

Науку следует понимать, как систему ввиду принятого постулата системной парадигмы. Это не трудно сделать, отметив общее в различных науках. Во-первых, наука имеет предмет исследования или предмет науки. Во-вторых, она имеет исследователей, которые по каким-то причинам поставили себе целью, задачей изучение предмета науки. Результатом изучения является теория объекта изучения, которая представляет из себя набор истинных утверждений об объекте, в том числе, задающих его свойства. Таким образом, задача изучения объекта может рассматриваться как системообразующий фактор такой системы как наука. Итак, на начальном этапе мы имеем предмет (объект) исследования и самих исследователей, а всю информацию и всю теорию об этом предмете исследователи должны получить, изучая каким-то образом этот объект. Именно этот объект диктует, каков должен быть язык его описания, в каком смысле утверждения в этом языке можно считать истинными и какую взять логику для получения истинных утверждений, в истинности которых невозможно убедиться непосредственно или с помощью приборов, а нужно провести рассуждение для выявления их истинности. Полная теория, очевидно, имеет математическую часть позволяющую рассчитывать численные параметры объекта и динамику их изменения во времени. Биологические объекты, как правило, весьма далеки в отношении наличия полнофункциональной теории для них, в особенности, это касается математической модели биологических объектов. Но есть блестящие примеры системного построения науки, такие как построение А.А. Марковым теории слов в алфавитах [13], то есть теории физических объектов в виде букв, слов на бумаге, которая лежит и используется в настоящее время, как основной инструмент теоретических вопросов искусственного интеллекта, представляющего в наше время значительный интерес для биологов.

Теперь мы можем достаточно чётко сформулировать усиление обсуждаемого постулата теории функциональных систем, имеющее место в категорной теории систем: второй постулат теории категорных систем, как обсуждаемый усиленный постулат, включает утверждение о том, что все свойства системы, как исследуемого объекта, все атрибуты теории этого объекта, включая логику, понятие истинности и другие атрибуты порождаются исключительно из рассмотрения и изучения самого объекта, то есть порождаются из системообразующего фактора изучаемой системы как объекта исследования. Подобная роль системообразующего фактора, хотя и не была сформулирована непосредственно П.К. Анохиным, но достаточно явно она просматривается в его работах.

В процессе построения теории объекта нередко возникает необходимость изучать отдельный набор свойств этого объекта, отвлекаясь от рассмотрения объекта в целом. Но системный подход требует завершающего шага сбора общей

теории объекта из тех частей, которые разработаны по отдельности. Приведённых позиций достаточно, чтобы системно наметить подход к изучению такого объекта, как организм человека, или, лучше сказать, человека. Сложность изучения такого объекта крайне высока. И в его изучении исторически сложился целый ряд направлений. Мы коснёмся трёх таких направлений, нормальной физиологии, механики твёрдых тел, жидкостей и газов и патофизиологии. Далее, мы уже по аналогии с механикой сможем добавить такое направление как биохимия и другие направления, которые следует на определённом шаге объединять для получения полной теории объекта. Во всех системных подходах подчёркивается, что в понятие системы входят атрибуты целостности, система представляет объект как целое, возникает наблюдение, например, о свойствах целого, которых не имеют его части и так далее.

Подчеркнём ещё один важный аспект понятия теории объектов. Как мы знаем, построить теорию (модель и т.п.) реального объекта полностью ему адекватную невозможно: «электрон также неисчерпаем как атом», как сказал классик. Так, классическая механика, на которую мы будем опираться, не описывает квантовых явлений, важных для организма, например, работу сетчатки глаза по восприятию квантов света и прочих эффектов. Тем не менее, в рамках самой теории все объекты имеют точные определения и полное описание своих свойств. Подчеркнем связанный со сказанным важнейший момент, имеющий место при обсуждениях того или иного вопроса. На сам физически существующий объект мы можем лишь «указывать пальцем», попытка говорить о его свойствах всегда будет безуспешной, если мы не будем уточнять ту модель этого объекта, в которой само свойство только и может быть сформулировано и определено. Например, на вопрос, что такое «электрон», мы либо указываем на него пальцем, как на реально существующий объект, либо обязательно указываем ту теорию, которая его моделирует. В этой теории имеется точное определение объекта и всех его свойств. Например, электрон в классической механике — это точно определённый объект, материальная точка такой-то массы, с таким-то зарядом, движущаяся по таким-то траекториям. В квантовой механике тоже имеется точное определение электрона — это материальная точка такой-то массы, известного заряда, подчиняющаяся уравнению Шрёдингера. В квантовой электродинамике, описывающей поглощение света нейронами сетчатки глаза, понятие электрона также чётко и точно определено, вместе со всеми его свойствами.

Таким образом, когда мы говорим о системообразующем факторе, то обязаны указать теорию, которая при этом имеется ввиду, разговоры о системообразующем факторе «вообще», быстро приводят к путанице и не являются научными.

Несмотря на успехи теории функциональных систем в ней имеется ряд нерешённых вопросов, некоторые из них мы обсудим на простом физиологическом примере. Далее покажем, как эти нерешённые вопросы получают полное решение в категорной теории систем, которая даёт платформу для одновременного рассмотрения функциональных и патологических систем, необходимых для медицины.

Во время жары человек теряет воду, плазма крови сгущается, возникает потребность в воде для организма, рецепторы передают сигналы в мозг, в стволе головного мозга эти сигналы порождают мотивацию, человек осознаёт чувство жажды, мотивация активизирует афферентный синтез, который обращаясь к памяти и ещё трём составляющим, вырабатывает решение в блоке принятия решения известной схемы функциональной системы по П.К. Анохину, который фиксирует в акцепторе результата действия параметры потребного результата, а также вырабатывает программу действий для эффекторов, направленную на достижение результата, который удовлетворит имеющуюся потребность. В результате человек, например, встаёт, подходит к холодильнику, находит там воду и удовлетворяет свою потребность жажды.

Это хорошо иллюстрирует вытекающий из второго постулата важный вывод: системообразующий фактор определяет динамику системы, позволяет предсказать положение самого организма и его параметры от момента к моменту. Мы можем сказать, что человек, находясь в начальный момент в одном состоянии, в следующий близкий момент находится в таком состоянии, которое приближает его к холодильнику, где он рассчитывает получить воду.

Абсолютно аналогичную функцию в неживых системах, например, в системе N материальных точек, лучше сказать, в точности ту же роль играет принцип наименьшего действия. Напомним, что из этого принципа варьированием интеграла действия мы получаем уравнение движения частиц, решая уравнение движения мы находим траектории частиц и, тем самым, можем ответить на вопрос, аналогичный выше поставленному: где будут находиться материальные частицы, если они находились в известных положениях в заданный момент времени. Другими словами, для функциональных систем системообразующий фактор играет ту же роль, что и принцип наименьшего действия для механических объектов. Категорная теория систем для живых объектов в их системообразующих факторах, как системах, постулирует наличие принципа наименьшего действия, который управляет механической частью живого организма.

Второй принцип, очевидно входящий в системообразующий фактор живого организма, — это принцип выживания. Поясним, что мы имеем в виду. В организм для обеспечения жизнедеятельности всей популяции подобных организмов генетически заложено стремление к выживанию. Каждый организм стремится выжить. Вся популяция как система также стремится выжить. Это очевидно в виду следующего простого факта. Если организм и, тем самым, популяция не имели бы подобного качества, то через некоторое время в наличии не оказалось бы ни живого организма, ни всей популяции. Стремление к выживанию у популяции, по-видимому, вложено в геном отдельных особей, при этом нередко выживание популяции приводит к необходимой гибели для этого отдельных особей, если это требуется для популяции. Ярким тому примером является хорошо изученное поведение леммингов при периодических всплесках размножения (число особей возрастает во время этих всплесков в сотни раз), они собираются в миллионные стаи и двигаются к водоемам, в которых гибнут [14].

Рассматривая живые организмы, их популяции с точки зрения категорной теории систем мы, таким образом, должны признать и постулировать, что в системообразующем факторе организма реализуются два принципа: принцип выживания и принцип наименьшего действия. Системы с таким системообразующим фактором естественно назвать биомеханическими. Важно подчеркнуть, что этими двумя принципами состав системообразующего фактора

организма, как системы, не исчерпывается, но в значительной степени эти два принципа позволяют достаточно подробно описывать организм как систему. Биологи вряд ли будут возражать по поводу принципа выживания, принцип наименьшего действия, обеспечивающий механические движения организма и его частей, мы далее обсудим.

Мы затронули достаточно необходимых для дальнейшего обсуждения аспектов.

Мы разберём весьма показательную [3, С. 89, 97] дискуссию по теории функциональных систем между академиком К.В. Судаковым и профессором А.Б. Салтыковым, написавшим книгу «Функциональные системы в медицине» [15]. Стороны не нашли консенсуса, в нашем подходе этот консенсус найден. Речь идёт об атрибуте быть полезным для организма результатом, как это постулируется в системообразующем факторе в теории функциональных систем в физиологии. Поскольку это постулат в теории функциональных систем, то реально обсуждать здесь нечего. Однако в поздних работах К.В. Судаков ставит задачу [3, С. 122] состыковки двух теорий, теории функциональных систем и теории патологических систем Г.Н. Крыжановского [2]. Именно, рассогласование функциональных систем порождает определённые патологические процессы. Сразу отметим, что это вопрос общей теории систем, а не теории функциональных систем или теории патологических систем, взятых по отдельности, поскольку он относится к выявлению взаимодействия различных систем.

Мы обсудили функциональные системы, системы А.Б. Салтыкова, патологические системы, которые при возможной формализации укладываются в категорную теорию систем, допускающую различные системообразующие факторы.

Теперь обсудим чрезвычайно важное обстоятельство с точки зрения теории функциональных систем П.К. Анохина [1]. Это обстоятельство возникает при обнаружении того факта, что теория функциональных систем применима не только в физиологии. Эти вопросы рассматриваются в наиболее зрелых статьях последнего периода жизни Петра Кузьмича Анохина. Теория функциональных систем применима к таким системам, в которых реализован системообразующий фактор и схема поведенческого акта. С аксиоматической точки зрения в научном подходе, например, создание завода в индустрии, где имеется план, показатели, с которым сравнивается промежуточный результат, определён сам полезный результат в виде построенного завода, является моделью постулатов теории функциональных систем. Имея в виду успехи теории функциональных систем в физиологии П.К. Анохин поставил глобальную задачу, как мы теперь можем говорить, поиска других моделей аксиоматики теория функциональных систем, при этом природа модели не имеет определяющего значения.

Здесь П.К. Анохин осознанно и логично, применяет современный аксиоматический подход в науке, что абсолютно необходимо при использовании термина «теория». Теория функциональных систем в результате гораздо ближе соответствует строгому пониманию теории, чем набор интуитивных рассуждений у А.Б. Салтыкова, или Г.Н. Крыжановского о патологических системах, а также построений в других весьма далеких от формализации подходов. Теория функциональных систем, таким образом, становится всеобщей. Именно, так позиционировал теорию функциональных систем П.К. Анохин в одной из основных своих работ позднего периода: есть постулаты теории функциональных систем, определяющие понятие системы, и есть различные модели этих постулатов в физиологии, индустрии, искусстве и других отраслях знания и культуры. Такова во всей своей глубине созданная П.К. Анохиным теория функциональных систем, именно её мы обсуждаем далее и её имеем в виду.

Однако при этом всё более очевидными становятся ограничения, заложенные в постулаты функциональных систем. Одно из них в виде требования полезности результата мы достаточно обсудили в связи с системами А.Б. Салтыкова. Имеется фундаментальное ограничение теории функциональных систем, которое физиологи часто не явно и явно нарушают в своих рассуждениях, но которое не подвергалось в физиологии ни обсуждению, ни критике. В работе [1] П.К. Анохин детально рассматривает многочисленные системные подходы (Л. Бергаланфи, М. Месаровича и других) и опираясь на постулаты теории функциональных систем доказывает, что всё то, что до него рассматривали математики, биологи, физиологи как системы системами не является. Ключевой критический момент в его рассуждении состоит в том, что система должна иметь системообразующий фактор, при этом полезность результата не снимается. Сразу же из систем выпадают динамические системы и другие системы неживых объектов. Поскольку в патологических системах и системах А.Б. Салтыкова полезность результата не выполняется, то системами эти системные образования тоже не являются. Подчеркнём, что выводы П.К. Анохина о патологических системах, системах А.Б. Салтыкова и многих других гораздо категоричнее рассуждений К.В. Судакова, допускающих существование каких-то других систем, кроме функциональных. Именно, то, что называет системами А.Б. Салтыков или Г.Н. Крыжановский по П.К. Анохину не является вообще системами. Дискуссии между П.К. Анохиным и А.Б. Салтыковым просто не могло состояться. Такова логика науки, не допускающая противоречивых высказываний. Тем не менее наука не стоит на месте и понятие системы оказывается возможным рассматривать с более общих позиций, чем это сделано у П.К. Анохина. В категорной теории систем, развиваемой автором, понятие системообразующего фактора не связано с каким-либо заранее выбранным пониманием полезности и самого результата. Поэтому среди моделей категорной теории систем могут быть, например, формализованные системы А.Б. Салтыкова.

Постулаты теории функциональных систем не допускают рассмотрение машин в виде систем, что на практике закрывает применение системного подхода в машиностроении. Систообразующего фактора для системы материальных точек, машины или каких-то других неживых объектов, П.К. Анохин не нашёл, поэтому он не мог назвать их системами и системами не считал. В категорной теории систем понятие системообразующего фактора шире, а выше на примере принципов выживания и принципа наименьшего действия мы упомянули категорные биомеханические системы, очевидно, не являющиеся функциональными. Тем не менее, термин «система» к ним может быть применён, так как найден системообразующий фактор для этих образований. В результате мы возвратили термин система, в частности, для динамических систем, изучающихся в механике и в физике. Рассмотрение биомеханических систем вместо функциональных возвращает также системную логику в физиологию. Именно, физиологи не отрицают необходимость учёта механики в поведении и функционирования организма в виду наличия в

нём костей, жидкостей и газов, то есть механических частей, для которых должны выполняться законы механики, но очевидным образом системно они подходят только к физиологической части организма, эклектично и часто противоречиво используя результаты механических законов. Теория функциональных систем П.К. Анохина здесь сталкивается с непреодолимой в её рамках проблемой. Претендуя на общесистемный подход, понятие функциональной системы оказывается недостаточным для последовательного, подчеркнем, **системного** рассмотрения живого организма. Попытку включить машину в функциональную систему [3, С. 24], оставаясь в рамках функциональных систем нельзя считать успешной. Так называемые, в таком случае эргатические системы «человек-машина» являются как это обосновано в [7] типом систем, не сводящимся к функциональным. Действительно, исходя из второго постулата получение теории объекта в виде человека должно включать не только физиологию, но и механику, без которой динамика этой системы во времени просто не может быть описана. Правда, здесь будет использована не механика Ньютона, а достаточно развитая в настоящее время механика с сервосвязями.

Заключение

Итак, с точки зрения категорной теории систем наука о человеке, то есть теория объекта «человек и его организм» строится исключительно с опорой на изучение самого объекта. Сложность теории приводит к разбиению её на части, по крайней мере, мы касаемся трёх частей: физиологии, механики и патофизиологии. Безусловно, нужно рассматривать биохимию и другие науки о человеке. При построении теории указанные её части объединяются в единое целое. Первоначальный вариант теории функциональных систем относился к физиологии и не мог охватить другие необходимые для теории направления, в первую очередь механику. Окончательный вариант теории функциональных систем, построенной П. К. Анохиным, хотя и является общим системным подходом, не может дать системного описания организма человека ввиду перечисленных выше ограничений, исключающих, в частности, системное применение законов механики, а также рассмотрение организмов с той или иной патологией. Как мы надеемся, в статье показано, что теория категорных систем даёт основательную системную платформу для построения теории организма человека, учитывающую законы нормальной физиологии, патологической физиологии и механики, которая в дальнейшем может быть естественным образом дополнена другими науками о человеке, такими как биохимия, когнитивные и другие науки.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем / П.К. Анохин // Принципы системной организации функций : сб. науч. тр. — Москва : Наука, 1973. — С. 5–61.
2. Бернштейн Н.А. Физиология движений и активность / Н.А. Бернштейн. — Москва : Наука, 1990. — 495 с.
3. Крыжановский Г.Н. Основы общей патофизиологии / Г.Н. Крыжановский. — Москва : МИА, 2011. — 256 с.
4. Марков А.А. Теория алгорифмов / А.А. Марков, Н.М. Нагорный. — Москва : Наука, 1996. — 432 с.
5. Салтыков А.Б. Функциональные системы в медицине / А.Б. Салтыков. — Москва : МИА, 2013. — 208 с.
6. Судаков К.В. Эволюция терминологии и схем функциональных систем в научной школе П.К. Анохина / К.В. Судаков, И.А. Кузичев, А.Б. Николаев [и др.]. — Москва : ЕПС, 2010. — 238 с.
7. Толоконников Г.К. Категорные склейки, категорные системы и их приложения в алгебраической биологии / Г.К. Толоконников // Биомашсистемы. — 2021. — Т. 5, № 1. — С. 148–235.
8. Толоконников Г.К. Направленные бинарные категорные склейки, принцип двойственности и категорная модель нейронных сетей / Г.К. Толоконников // Системная информатика. — 2025. — № 27. — С. 15–58.
9. Толоконников Г.К. Неформальная категорная теория систем / Г.К. Толоконников // Биомашсистемы. — 2018. — Т. 2, № 4. — С. 41–144.
10. Черноиванов В.И. Основы теории биомашсистем / В.И. Черноиванов, Г.К. Толоконников. — Москва : Росинформагротех, 2024. — 303 с.
11. Черноиванов В.И. Категорная теория систем, функциональных систем и биомашсистем. Ч. 1–2 / В.И. Черноиванов, С.К. Судаков, Г.К. Толоконников // Нейроинформатика–2017 : сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. — Москва, 2017. — Т. 2. — С. 131–147.
12. Черноиванов В.И. Биомашсистемы и функциональные системы на категорной основе / В.И. Черноиванов, С.К. Судаков, Г.К. Толоконников // ИнформАгро–2017 : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. — Москва : Росинформагротех, 2017. — С. 279–286.
13. Черноиванов В.И. Теория функциональных систем в контексте общего системного подхода / В.И. Черноиванов, С.К. Судаков, Г.К. Толоконников // Биомашсистемы. — 2018. — Т. 2, № 1. — С. 6–99.
14. Чернявский Ф.Б. Материалы по динамике и демографии лемминговых популяций в Колымской низменности / Ф.Б. Чернявский, С.П. Кирющенко, Т.В. Кирющенко // Экология млекопитающих тундры и редколесья Северо-Востока Сибири : сб. науч. тр. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1985. — С. 90–118.

15. Tolokonnikov G.K. Functional Systems Integrated with a Universal Agent of Artificial Intelligence and Higher Neurocategories / G.K. Tolokonnikov // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. — 2021. — Vol. 1315. — P. 3–12. DOI: 10.1007/978-3-030-67133-4_1.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Anokhin P.K. Prinsipial'nye voprosy obshchey teorii funktsional'nykh sistem [Fundamental questions of the general theory of functional systems] / P.K. Anokhin // *Printsiipy sistemnoy organizatsii funktsiy* [Principles of systemic organization of functions] : collection of scientific papers. — Moscow : Nauka, 1973. — P. 5–61. [in Russian]
2. Bernshteyn N.A. Fiziologiya dvizheniy i aktivnost' [Physiology of movements and activity] / N.A. Bernshteyn. — Moscow : Nauka, 1990. — 495 p. [in Russian]
3. Kryzhanovskiy G.N. Osnovy obshchey patofiziologii [Fundamentals of general pathophysiology] / G.N. Kryzhanovskiy. — Moscow : MIA, 2011. — 256 p. [in Russian]
4. Markov A.A. Teoriya algorifmov [Theory of algorithms] / A.A. Markov, N.M. Nagornyy. — Moscow : Nauka, 1996. — 432 p. [in Russian]
5. Saltykov A.B. Funktsional'nye sistemy v meditsine [Functional systems in medicine] / A.B. Saltykov. — Moscow : MIA, 2013. — 208 p. [in Russian]
6. Sudakov K.V. Evolyutsiya terminologii i skhem funktsional'nykh sistem v nauchnoy shkole P.K. Anokhina [Evolution of terminology and schemes of functional systems in the scientific school of P.K. Anokhin] / K.V. Sudakov, I.A. Kuzichev, A.B. Nikolaev [et al.]. — Moscow : EPS, 2010. — 238 p. [in Russian]
7. Tolokonnikov G.K. Kategornye skleyki, kategornye sistemy i ikh prilozheniya v algebraicheskoy biologii [Category gluings, category systems and their applications in algebraic biology] / G.K. Tolokonnikov // *Biomasisistemy* [Biomassystems]. — 2021. — Vol. 5, № 1. — P. 148–235. [in Russian]
8. Tolokonnikov G.K. Napravlennye binarnye kategornye skleyki, printsip dual'nosti i kategornaya model' neyronnykh setey [Directed binary category gluings, the duality principle and a categorical model of neural networks] / G.K. Tolokonnikov // *Sistemnaya informatika* [System informatics]. — 2025. — № 27. — P. 15–58. [in Russian]
9. Tolokonnikov G.K. Neformal'naya kategornaya teoriya sistem [Informal category theory of systems] / G.K. Tolokonnikov // *Biomasisistemy* [Biomassystems]. — 2018. — Vol. 2, № 4. — P. 41–144. [in Russian]
10. Chernoyivanov V.I. Osnovy teorii biomasisistem [Fundamentals of the theory of biomassystems] / V.I. Chernoyivanov, G.K. Tolokonnikov. — Moscow : Rosinformagrotekh, 2024. — 303 p. [in Russian]
11. Chernoyivanov V.I. Kategornaya teoriya sistem, funktsional'nykh sistem i biomasisistem. Ch. 1–2 [Category theory of systems, functional systems and biomassystems. Parts 1–2] / V.I. Chernoyivanov, S.K. Sudakov, G.K. Tolokonnikov // *Neuroinformatika-2017* [Neuroinformatics-2017] : collection of scientific papers of the International Scientific and Technical Conference. — Moscow, 2017. — Vol. 2. — P. 131–147. [in Russian]
12. Chernoyivanov V.I. Biomasisistemy i funktsional'nye sistemy na kategornoy osnove [Biomassystems and functional systems on a categorical basis] / V.I. Chernoyivanov, S.K. Sudakov, G.K. Tolokonnikov // *InformAgro-2017* [InfoAgro-2017] : proceedings of the IX International Scientific-Practical Conference. — Moscow : Rosinformagrotekh, 2017. — P. 279–286. [in Russian]
13. Chernoyivanov V.I. Teoriya funktsional'nykh sistem v kontekste obshchego sistemnogo podkhoda [Theory of functional systems in the context of a general system approach] / V.I. Chernoyivanov, S.K. Sudakov, G.K. Tolokonnikov // *Biomasisistemy* [Biomassystems]. — 2018. — Vol. 2, № 1. — P. 6–99. [in Russian]
14. Chernyavskiy F.B. Materialy po dinamike i demografii lemmingovykh populyatsiy v Kolym'skoy nizmennosti [Materials on the dynamics and demography of lemming populations in the Kolyma Lowland] / F.B. Chernyavskiy, S.P. Kiryushchenko, T.V. Kiryushchenko // *Ekologiya mlekopitayushchikh tundry i redkoles'ya Severo-Vostoka Sibiri* [Ecology of mammals of the tundra and open woodlands of North-East Siberia] : collection of scientific papers. — Vladivostok : DVNTS AN SSSR, 1985. — P. 90–118. [in Russian]
15. Tolokonnikov G.K. Functional Systems Integrated with a Universal Agent of Artificial Intelligence and Higher Neurocategories / G.K. Tolokonnikov // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. — 2021. — Vol. 1315. — P. 3–12. DOI: 10.1007/978-3-030-67133-4_1.