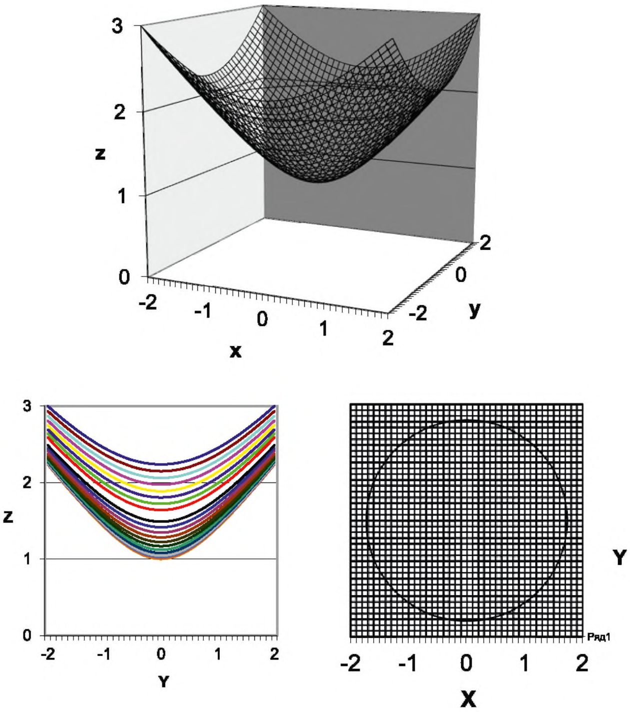
С. А. Хорьков, Ф. И. Маврикиди

ТЕХНОЦЕНОЗЫ, СИСТЕМЫ И ИХ МОДЕЛИ



Институт
Компьютерных
Исследований

С.А. ХОРЬКОВ, Ф.И. МАВРИКИДИ

ТЕХНОЦЕНОЗЫ, СИСТЕМЫ И ИХ МОДЕЛИ

Монография

Издание второе, исправленное и дополненное

Ижевск

2025

УДК 62:519.876: 303.732
ББК 30.1в631.9я43
Х831

Рецензенты: В. И. Гнатюк, д. т. н., проф., ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (Калининград);
Ю. В. Матюнина, к. т. н., доцент, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (Москва).

Хорьков С. А., Маврикиди Ф. И.

Х831 Техноценозы, системы и их модели: монография. — Изд. 2-е, испр. и доп. — Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2025. — 310 с.

ISBN 978-5-4344-1065-6

Целью авторов является исследование возможности математического описания сложных объектов – ценозов и систем. Сформулированный авторами для этого новый подход к формализации проблемы единства природы и человека, введение в модель *p*-адических чисел и их интерпретации наравне с вещественными числами, и привлечение известных фактов фрактальной геометрии, дает возможность в первом приближении согласовать формальные методы математики со смыслом технической и естественнонаучной областей. Подход оказывается хорошо обеспеченным различными разрозненными фактами математики, которые теперь объединяются в целостную теорию.

В настоящем издании объединены материалы ряда журнальных статей и статей, написанных на основе докладов конференций.

УДК 62:519.876
ББК 30.1в631.9я43

ISBN 978-5-4344-1065-6

ПРЕДИСЛОВИЕ

На сегодняшний день взаимодействие и взаимовлияние Природы с техногенной цивилизацией, биосферы с техносферой, представляет особый интерес, затрагивающий все области человеческой жизни. Все сферы деятельности и все науки испытывают возрастающий стресс от этого столкновения, которое известно как букет кризисов человечества. Сегодня развилось множество научных направлений и идей, направленных на преодоление критического состояния планеты. Нет только единой идеи и, соответственно, методологии, объединяющей все частные воззрения. В центре этой проблемы стоит проблема единства Природы и человека. Обе стороны этой проблемы – «Вавилонской башни» языка науки выживания человечества, изучаются различными дисциплинами, с различными методами и языками. В итоге усилия наук уподобляются сизифову труду – появляются и гаснут искорки надежды на построение этой «Вавилонской башни» согласованного языка наук. Однако за всеми построениями и концепциями угадывается непоколебимая стать физико-математической науки – все дисциплины при всех своих вариациях теорий прибегают к её языку, как единственно верному. Сложилось мнение о междисциплинарной, фундаментальной природе математической физики. Внимательное и длительное наблюдение и анализ результатов этой междисциплинарности ясно показывает, что она является простым паразитированием математики на сложности естественных и социальных наук. Принципиальные вопросы каждой из них остались нерешенными, достигнутые решения оказывались тривиальными, часто их воплощение приводило к бессмысленным и вредным результатам [1-3]. И хотя на сегодняшний день нет недостатка в критике приложений математических методов, общепризнанной альтернативы пока не видно. Известный тезис И.Канта о математике как критерии состоятельности научной теории обернулся своей противоположностью – развитие наук лимитируется развитием математики.

Особенностью современного этапа развития математики следует считать её вольный или невольный поворот в сторону изучения собственной реальности. Зародилась и развивается рефлексия известных математиков в отношении математики. Вторым, как представляется авторам, более плодотворным моментом является включение в анализ ранее неиспользовавшихся методов, в частности круга вопросов, связанных с математической логикой – разрешимостью, двойственностью, вариациям аксиоматики, теории моделей и других её тем, которые считались наукой пройденным этапом и существовали отдельно от главного направления.

Сильное впечатление произвела теория хаоса и фракталов, которую известный математический реферативный журнал Mathematical Reviews относил в раздел «Фракталы, хаос и другие патологии». Как оказалось, фракталы являются областью пересечения множества математических дисциплин, часто, углубляя понимание, как отдельного явления, так и связей между различными феноменами. Сегодня число книг, посвященных фракталам и хаосу многократно возросло, кроме того не счесть отдельных глав монографий, которые полностью базируются на этих идеях. Но вновь, как в случае с кибернетикой, теория увязла в физических представлениях и пока кроме интересных и широких трансдисциплинарных и межкультурных аналогий не выработала.

В итоге вырисовывается новая формулировка «Вавилонской башни» науки – требуется находить нематематические решения математическими методами. Это было именно то, чего ждали в XX веке естественные науки от кибернетики и прикладной математики – общего языка для различных дисциплин, который позволил бы переводить вербально-образные модели частных дисциплин на функционально-числовые схемы математики.

В связи с этим представлены основные сведения о системах, которые изложены на основе числовой асимметрии – нового математического аппарата моделирования общей теории систем, формально воспроизводящей явление двойственности, характеристическое для сложных объектов. Показаны связи ценозов и систем общего вида, делается заключение о перспективности развития математического представления сложных техногенных объектов на базе числовой асимметрии.

В качестве обоснования формализации двойственности, которая носит контрматематический характер, рассмотрена «противоречивая» версия теоремы К.Гёделя о неполноте. Показано, что в числовой асимметрии возможен переход к арифметике Пресбургера, которая в качестве логической системы является антиподом теоремы о неполноте, то есть представляет собой и полную, и непротиворечивую формальную систему, которая имеет потенции моделирования нефизических – техногенных и естественнонаучных, объектов.

Эмпирическим базисом работ служит материально-идеальная универсальность природных фракталов, которая далее при посредстве *p*-адических чисел преобразуется в необходимый формальный аппарат представления системной двойственности.

Объединяющая потенция природных фракталов позволяет рассматривать их как первоначальный вариант материала «Вавилонской башни» науки, который может решить проблему единства Природы и человека. Эта проблема существенным образом включает в себя как природные, так и технические, созданные человеком образования и процессы, включая его самого.

К решению этой проблемы пытаются найти путь авторы этой книги. Здесь она представлена технической стороной как ценозы и естественнонаучной как общая теория систем. Как оказалось эти два комплекса вопросов имеют много общего в основаниях своих моделей. Этот ограниченный круг вопросов является сквозной темой публикации – установление общности естественного и технического языков. К этому результату ведут многочисленные факты и выводы, полученные в XX веке в период развития прикладной математики, кибернетики и теории систем, которые, однако, остались разрозненными фрагментами общей картины. Будучи по отдельности частично адекватными, эти факты в совокупности требуют объединения своих частичных истин в осмысленную инженерную истину, которая могла бы стать основой технологических и управленческих решений. Так же как белый свет, ориентирующий человека в мире, является синтезом различных цветов – «Истина – белого цвета» (А.Франс).

Моделирование промышленного производства, эколого-экономических систем, которые нагружены большой финансовой, социальной, экологической и политической ответственностью, пока лишено математического фундамента и относится, как правило, к эвристическим моделям. Рассмотренные авторами отдельные вопросы позволяют надеяться на развитие этого направления в будущем.

***

Ценоз (от греческого – koinos – общий, английского – cenosis) – есть система (сообщество) самоподобных элементов, нагруженных материальным, энергетическим и/или информационным ресурсом. Самоподобие здесь означает, что форма элементов, скорее всего, в статистическом смысле, одинакова, при этом элементы ценоза на разных уровнях имеют разный размер. Поэтому они принимают и содержат различное количество ресурса. Элементы ценоза можно ранжировать (упорядочить). Обычно аппроксимированный ранжированный ряд ценоза имеет степенной, чаще всего говорят, «гиперболический» вид. Известными примерами ценоза являются биоценоз и биогеоценоз. Ценоз имеет, как правило, иерархическую структуру. Для внешнего окружения ценоз представляет собой некую целостность, которая может эволюционировать. Основа ценоза – пищевая или энергетическая цепочка. Появившись, такая цепочка прирастает новыми элементами и связями. Пищевая цепочка включает, исходный материал, устройство для его переработки (оно объединяет в некоторых случаях «технологию» и «технику»), выходной продукт (материал). Процесс переработки исходного материала сопровождается появлением отходов. Если отходы становятся исходным продуктом для другой цепочки и полностью потребляется ею, то производство становится безотходным, а цепочки объединяются в сеть. Энергетическая цепочка включает источник энергии и потребителей энергии. Источник и потребители связаны сетью передачи энергии. Очень часто один источник и множество потребителей связаны радиальной (древесной иерархической) сетью. Несложно показать, что уровни такой сети имеют гиперболическое распределение. Существуют ценозы на основе передачи информации. Примером такого информационного ценоза является всемирная паутина – WWW.

Во второй половине XX века стали исследовать техноценозы. Большой вклад в развитие нового подхода к техническим системам внес профессор Б.И. Кудрин, предложивший свою концепцию техноэволюции. Он стал использовать для её описания некоторые понятия и термины из биологии и экологии, например, «вид», «популяция», «семейство», «ценоз», «экосистема», «генотип», «фенотип». Приведем рабочее определение техноценоза, данное Б.И.Кудриным: «Техноценоз – сообщество изделий конвенционально определенного объекта, включающего популяции всех видов выделенного семейства; множество образующих целостность элементов изделий, характеризующееся слабыми связями и слабыми взаимодействиями относительно друг друга; система техногенного происхождения, рассматриваемая как сообщество классифицируемых по видам единиц техники, технологии, материала, продукции, отходов, и выделяемая административно – территориально для целей инвестиционного проектирования, построения (сооружение, монтаж, наладка), обеспечение функционирования (эксплуатация, ремонт), управления (менеджмент). Гносеологически такое определение позволяет опереться на ценологический подход естествознания и математический аппарат негауссовых гиперболических *H*-распределений для исследования систем (объектов) типа: цех, производство, предприятие (организация) или отдельное его хозяйство, отрасль, мировое производство продукта (сталь, нефть, зерно); село, район, город, область, регион, страна, сообщество государств или общественных движений. Исследование технического ценоза – исследование целостности, которая структурируется и характеризуется устойчивыми параметриами.»[4].

В ценологическом исследовании Кудрин выделяет: неделимые элементарные единицы-особи, технические виды, входящие в ценоз, и собственно ценоз. Он ввел в ценозе гиперболические *H*-распределения: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру. Кудрин также предложил модель ценоза на основе разложения факториала некоторого числа в произведение простых чисел в некоторых степенях. В техноценозах промышленной энергетики он ввел 6 иерархических уровней электроснабжения, что позволяет на научной основе решать вопросы проектирования, планирования, управления, обеспечения функционирования заводов и заводских электрохозяйств. Теоретическую основу ценологических утверждений Кудрина составляют работы академиков А.Н.Колмогорова, А.Я.Хинчина и Б.В.Гнеденко о безгранично делимых распределениях. Класс этих законов шире класса предельных законов для сумм независимых случайных величин, сходящихся к нормальному закону Гаусса.

Ученик профессора Б.И.Кудрина профессор В.И. Гнатюк предложил в качестве основы для построения оптимального техноценоза использовать начала термодинамики и понятие устойчивости систем [5].

Понятие техноценоза еще окончательно не сформировано в полном виде как общепринятое понятие. Если Б.И.Кудрин делает акцент, главным образом, на структуре ценоза, конечно, его подход не ограничивается только указанным аспектом, то существуют подходы, делающие упор или на эволюции ценоза [6], или на управлении распределенной сетью техноценоза [7], или на использовании понятия техноценоза в качестве этапа исторической формации [8,9].

Известный систематик профессор К.М. Завадский много лет занимался исследованием эволюции сначала биоценозов, а затем и техноценозов. Он ввел понятие синтезогенеза – формирования ценоза из готовых частей и увеличения числа потенциально возможных свойств, которые могут пригодиться при встрече системы с новыми ситуациями, сегрегациогенеза – специализации элементов ценоза. Им введены понятия арогенеза (расширение организмом адаптационных возможностей), аллогенеза (смена организмом одной экологической ниши на другую, более выгодную для него в некотором смысле), телогенеза (более глубокая адаптация организма к заданным условиям экологической среды) [6].

Исследованием управления в техноценозах занимались профессора В.И.Варшавский и Д.А.Поспелов [6]. Они описали классические автоматные и игровые модели коллективного поведения сложных искусственных систем. Их вывод: управление в техноценозе не может быть централизованным. Оно предполагает согласование действий различных подсистем, при отсутствии единого (центрального), для всего ценоза, органа управления. Авторы работ [6,7] не дают определения техноценозу.

Специалисты по прикладной математике (по образованию) кандидаты физико-математических наук Л.Г.Бадалян и В.Ф.Криворотов рассматривают техноценоз в контексте математической истории [8]. Техноценоз у них – способ передачи неравновесия из одного места (топа) в другое место (нишу) и в определенном смысле аналог общественно-экономической формации. В [9] выделено 7 техноценозов от неолитической революции по сегодняшний день: неолитический, ассиро-вавилонский, греко-римский, средних веков, географических открытий, промышленных революций, постиндустриальный. «Мы моделируем видимую историю как последовательную передачу импульса (дисбаланса) через серию технологических революций. *Каждая традиционно выделяемая историческая эпоха*, от неолитической революции до общества XX в., персонифицируемого через США, *привязывается к освоению конкретной геоклиматической зоны со своей четко очерченной территорией, специфическим набором полезных растений и животных, доминантным ресурсом, одним на зону. Последний становится доступен благодаря некоторому фундаментальному открытию и связанным с ним специфическим социальным институтом, которые делают возможным присвоение богатств новой зоны, недоступных на уровне предыдущих технологий и энерговооруженности.* Это мы называем *(техно)ценозом*, имея в виду пищевые цепочки и технологии, позволяющие освоить новую зону…» [9]. Л.Г.Бадалян и В.Ф.Криворотов предложили модель техноценоза на основе концепции лагранжевой механики. Модель описывает освоение новой зоны через последовательность двух технологических революций сначала в производстве, а затем в инфраструктуре. Такая модель имеет связь с циклами/волнами Н.Д.Кондратьева. «Передача неравновесия масштаба технологических революций повторялись в истории много раз и можно утверждать, что они и определяют её ход» [9].

Охватить весь спектр подходов, связанный с исследованием ценозов, в небольшой работе не представляется возможным. Нам в наибольшей степени импонирует подход профессора Б.И. Кудрина. Его мы и будем придерживаться.

Поскольку энергетические сети имеют древесную (и/или гиперболическую) структуру или могут быть сведены к ней, то в качестве примеров мы будем рассматривать ценозы на их основе.

На основе найденных техноценологических закономерностей (необходимых связей) и инвариантов возможно (и следует) проектировать и строить энергетические объекты, эксплуатировать и ремонтировать энергетическое оборудование, управлять режимами энергопотребления и энергетическим хозяйством в целом.

В настоящем издании объединены материалы ряда журнальных статей и статей, написанных на основе докладов конференций.

Авторы благодарят рецензентов Виктора Ивановича Гнатюка и Юлию Валерьевну Матюнину за поддержку и конструктивные рецензии, а также Александра Сергеевича Белова, Андрея Алексеевича Коновалова и Сергея Григорьевича Филиппова за содействие, оказанное при подготовке книги к изданию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дернер, Д. Логика неудачи/ Д. Дернер. – М.: Мысль, 1997.2.– 43с.
2. Скотт, Д. Благими намерениями государства/ Д. Скотт. – М.: Университетская книга, 2005. – 402с.
3. Тутубалин, В.Н.. Математическое моделирование в экологии: Историко-методологический анализ/ В. Н. Тутубалин, Ю. М. Барабашева, А. А. Григорян, Г. Н. Девяткова, Е. Г. Угер. – М.: Языки русской культуры, 2009. –134с.
4. Кудрин, Б. И. Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические Н-распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта / Б. И. Кудрин. В кн.: Философские основания технетики. Вып. 19. «Ценологические исследования». – М.: Центр системных исследований, 2002. – С. 357–412.
5. Гнатюк, В.И.Закон оптимального построения техноценозов/ В.И. Гнатюк. В кн.: Философские основания технетики. Вып.19. «Ценологические исследования». – М.: Центр системных исследований, 2002. – С. 413–417.
6. Завадский, К.М. К проблеме прогресса живых и технических систем / Теоретические вопросы прогрессивного развития живой природы и техники. – Л.: Издательство Наука, 1970. – С. 3 – 28.
7. Варшавский, В.И., Оркестр играет без дирижера: размышления об эволюции некоторых технических систем и управлении ими/ В.И.Варшавский, Д.А. Поспелов. – М.: Издательство Наука, 1984. – 208 с.
8. Бадалян, Л.Г., История. Кризисы. Перспективы: Новый взгляд на прошлое и будущее/Под.ред и с предисл. Г.Г. Малинецкого // Л.Г Бадалян, В.Ф.Криворотов. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 288с.
9. Бадалян, Л.Г.Динамическая модель исторических экономик/ Л.Г Бадалян, В.Ф.Криворотов//Проблемы математической истории: математическое моделирование исторических процессов/ Отв.ред. Г.Г. Малинецкий, А.В. Коротаев – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 208. – С. 49-78.

1. СИСТЕМНО-ЦЕНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ*

Аннотация. Основу данного раздела составляет близость понятий системы и ценоза, которые задают два способа описания и управления техногенными объектами. Используя развитый авторами подход к моделированию систем и ценозов, в работе представлен метод математического моделирования, основанный на включении в аппарат моделирования *p*-адических чисел. Этот шаг дает возможность моделировать специфически системно-ценологические свойства объектов и их взаимодействия с внешней средой. Описываемый подход основан на ряде известных математических фактов, не вошедших в образовательный арсенал науки, но, представляющий собой логически связную последовательность результатов, имеющих отношение к практике и теории фракталов.

Ключевые слова: система, ценоз, математическое моделирование, числовая асимметрия, фрактальная геометрия, *p*-адические числа.

Техногенные объекты, эколого-экономические системы, водохозяйственные комплексы, системы разработки полезных ископаемых (прежде всего нефтегазовое производство) имеют двойную – искусственно - естественную природу, являясь плодами технической деятельности человека, погруженными и взаимодействующими с естественными геолого-географическими, биологическими и социальными процессами. Общая теория систем, хотя и включала в себя производство, однако в большей степени была нацелена на вскрытие естественной природы систем, имея ввиду свой исток в виде биологии, дающей большое разнообразие немеханического, целевого поведения. Итогом развития теории сложных объектов в XX веке явилось отсутствие особого математического аппарата для их моделирования. Поэтому по сей день общая теория систем использует физико-математические методы, оставаясь

---

* Первоначальный вариант опубликован: Маврикиди, Ф. И. Системно-ценологический подход к математическому моделированию техногенных объектов/ Ф. И. Маврикиди, С. А. Хорьков // Управление техносферой. - 2020. - Т. 3, вып. 3. - С. 401-426.

«зависимой переменной» от их развития, не демонстрируя оригинальных результатов системных явлений.

Однако, как показано авторами этой статьи, в математике осталась часть, незадействованная в моделировании и несущая в себе потенции существенного прогресса в моделировании сложных техногенных объектов [1,2]. Говоря естественнонаучным языком, суть этого подхода заключается в объединении физического атомизма с биологической ан-атомией. Философски – это объединение непрерывности с разрывностью. Формально он выражается сведением двух основных числовых систем математики – вещественных и *p*-адических чисел в единую самодвойственную систему, названную числовой асимметрией. Этот система двойственности воспроизводят известную с древности пару универсальных сил – притяжения и отталкивания, которые порождают пару универсальных же процессов конвергенции и дивергенции, известных во всех науках по различными именами: энтропия и негэнтропия, денудация и седиментогенез, асимметричный дуализм лингвистического знака, концентрация и распределение материального ресурса в производстве и т.д. Равнодействующими этой универсальной пары являются фракталы, которые, снабженные самодвойственной числовой асимметрией, проявляют все признаки кандидата в качестве базы для формального описания систем, отличной от традиционных физико-математических оснований. Это усматривается в том, что физические способы координатизации дополняются координатой делимости (декомпозируемости сложных систем), тем самым расширяя физические процессы *ан*-атомическими, биологическими.

Предлагаемая работа нацелена на общее описание интегрального подхода к моделированию техногенных объектов, основанного на числовой асимметрии систем и математики ценологии [3].

Предварительно следует пояснить, какой смысл вложен в сложный термин «системно-ценологический подход», указанный в заголовке статьи. Для этого следует показать сходство и отличие терминов и понятий «система» и «ценоз». Термин «система» употребляют в науке в составе таких словосочетаний как, «сложная система», «динамическая система», «техническая система», «электрическая система», «социальная система». Термин «ценоз» встречают в составе таких сложных терминов, как «биоценоз», «биогеоценоз», «техноценоз», «социоценоз». Следует отметить также, что отсутствуют общепринятые определения понятий «система» и «ценоз». В тоже время имеются значительные количества, их так называемых, «рабочих» определений.

В главе «Основы термодинамики и статистической физики» [4] «Системой называется набор реальных или воображаемых элементов, произвольно выбранных из окружающего мира. Этот набор является системой, если:

1. Задана связь между элементами.
2. Элементы системы считаются неделимыми. Конечно, в зависимости от изучаемой проблемы каждый элемент можно рассматривать как отдельную систему.
3. С окружающим миром система взаимодействует, как одно целое.
4. В ходе эволюции во времени набор остаётся системой, если существует однонаправленное соответствие между старыми и новыми элементами. Это соответствие должно быть именно однонаправленным. В случае дивергенции новые элементы могут рассматриваться, как одна система, или вводиться понятие «субсистема»…».

В этом определении зафиксированы структурные (элементы и связи) и динамические свойства (эволюция) некоторой целостности окружающего мира, выделенного с научной или производственной целью. Причем здесь предпочтение не отдается ни структурной, ни динамической стороне условий рабочего определения.

«Динамическая система», как абстракция, есть термин и понятие математики. При этом исходят из того, что все процессы, происходящие вокруг нас (или почти все) могут быть описаны дифференциальными уравнениями. Эволюционные процессы на пространстве состояний (фазовом пространстве) описывают динамической системой. Порядок описания предполагает наличие самого пространства, исходной точки пространства, оператора эволюции, задающего траекторию движения исходной точки, области притяжения (аттрактора) или области отталкивания (репеллера). Очень часто вместо сложного оператора – дифференциального уравнения, используют более простой способ описания динамики – итерации отображения одной области пространства внутрь себя. Нетрудно заметить, что в этом определении упор сделан на динамику (эволюцию) событий, структурному аспекту описываемой ситуации уделено гораздо меньше внимания.

Термин «ценоз», впервые появившийся ещё во второй половине 19 века в составе «биоценоза», получил новый импульс к развитию во второй половине 20 века после введения Б.И.Кудриным термина «техноценоз» [5]. Б.И.Кудрин рассматривает его в составе сложного отношения «изделие (особь)-ценоз-сфера» и считает, что родовым термином для «ценоза» является термин «сообщество», а главным инструментом для его изучения считает негауссову статистику. Ценоз состоит из единичных элементов (особей), но представляет собой целое образование, из ценозов складывается сфера. Например, множества отдельных представителей флоры и фауны образуют различные биоценозы; биосфера, в свою очередь, состоит из биоценозов. Б.И.Кудрин исследовал техноценозы – естественным образом сложившиеся сообщества технических изделий и агрегатов. Множества техноценозов, в свою очередь, составляют техносферу. Техносфера и биосфера взаимодействуют, их взаимодействие в настоящее время достигло такого уровня, что вызовы технического не всегда могут быть компенсированы адекватным ответом биосферы. Биосфера – дом всего живого, деформируется до такой степени, что теряет способность к восстановлению.

Кудрин предложил ранжировать элементы ценозов и выделил видовое, ранговидовое и ранговое по параметру распределения. Эти распределения аппроксимируют гиперболическими (степенными) распределениями и называют гиперболическими H-распределениями. Они являются эмпирическим основанием для изучения ценозов. Теорией ценозов, по Б.И.Кудрину, является теория безгранично-делимых распределений, основной вклад в создание которой сделали А.Н.Колмогоров, А.Я.Хинчин и Б.В.Гнеденко.

Сильным, и имеющим эмпирические основания, утверждением Б.И.Кудрина является положение о том, что техноэволюция, порождающая техноценозы, является таким же естественным процессом как и биоэволюция. И «правильное» создание (проектирование) техноценозов должно являться следствием открытия и изучения естественных законов техноэволюции.

По Б.И.Кудрину техноценоз не является системой («ни кибернетической, ни большой»), потому что связи между элементами техноценоза слабее, чем связи между элементами техноценоза и элементами других ценозов. Однако Б.И.Кудрин не указывает на способ для количественной оценки силы-слабости этих связей. Существенна также размытость, неопределенность границ техноценоза, определяемая лишь конвенционно. [5]

Вслед за Б.И.Кудриным сложилось понимание ценоза как сообщества, состоящего из разновеликих элементов. Для построения гиперболических распределений таких элементов не требуется ни специальных приборов, ни специальных средств измерений. Например, В.Парето получил гиперболическое распределение богатства по различным слоям населения на основе доступного статистического материала; А. Д.Лотка получил степенную зависимость для ученых, написавших определенное количество статей, на основе статистического исследования массива публикаций.

Анализ эволюции техноценоза требует выделения временных этапов в значительном объеме статистических данных. Для исследования зарождения, функционирования (развития) и старения (угасания, утилизации) крупного техноценоза нужны документы, охватывающие значительный период времени. Получение их в полном объеме чрезвычайно редкая удача. Работа с такими документами требует специальной исследовательской работы.

По нашему мнению, дать рабочее определение «ценоза» можно как через «систему», так и через «сообщество». (Важно подчеркнуть также, что процесс, запущенный интерсубъективным механизмом формирования понятия «ценоза» ещё не завершен, и продолжается в настоящее время). Если акцент делают на динамике ценоза, то удобно говорить о ценозе, как о системе, если упор делают на его структуре, то удобно говорить о ценозе, как о сообществе.

Главным в «структурном» определении ценоза является то, что он имеет иерархическую структуру, состоящую из самоподобных элементов, т.е. таких элементов, форма которых совпадает с формой целого, и/или элементы и целое ценоза являются статистически однородными образованиями. Самоподобный элемент – это элемент, смысл существования и функционирования которого включает смысл целого. Такую структуру, как правило, описывают гиперболическими H-распределениями. Следует подчеркнуть также, что структура ценоза появляется при приеме материального, энергетического или информационного ресурса и эволюционирует, как единое целое.

Поскольку структура ценоза формируется естественным образом и является иерархической (гиперболической и/или древесной), то для её описания и формализации используют математику фракталов, p-адических чисел, ветвящихся процессов, негауссовых статистических распределений, т.е. тех разделов математики, которые нельзя отнести к разряду традиционных.

Таким образом, системно-ценологический подход к математическому моделированию техногенных объектов означает соединение наработок теории систем, теории ценозов и тех достижений математики, которые остались в тени традиционных подходов к моделированию и исследованию сложных природных и технических систем. Перспективность такого подхода обусловлена актуальными задачами, стоящими перед современной наукой и практикой.

Теорема К. Гёделя – краеугольный камень реализуемости единого подхода к формализации. Теорема Гёделя о неполноте имеет большую литературу как математическую, так философско-методологического плана. Однако она не является первым шагом в построении модели. До него следует выбрать метод измерения – их два, метод наблюдения – их тоже два. Очевидно, что с точки зрения общей теории систем в нынешнем виде эта теорема запрещает двойственность в математических моделях, несмотря на то, что сам Гёдель говорил, что источником его идеи нумерации послужил парадокс Лжеца – "Я лгу", который, очевидно, имеет двойной смысл. Как показал анализ, в тени конструкции Гёделя осталась нумерация Р.Смальяна – двоичными, или вернее 2-адическими строками. Эта нумерация в железе реализована в компьютере, который является наиболее знакомым и выразительным примером числовой асимметрии – синтеза вещественных и 2-адических чисел (численных расчётов и текстовых, графических редакторов). Эти 2-адические числа представляют собой интерпретацию арифметики Пресбургера, в которой есть отрицания, но нет противоречий и которая являет полную и непротиворечивую логическую систему, в отличие от неполных и непротиворечивых физических. Как показал Дж. Майхилл, такие системы могут формулировать истину собственными средствами – доказуемость совпадает с выводимостью. Поэтому, такой – системный, вариант теоремы Гёделя, дополненный результатами М.Пресбургера и Дж. Майхилла, представляет логическую основу системно-ценологического моделирования (все сведения из математики, потребные для дальнейшего приведены в [1]). Кратко, для ясности картины, скажем, что они представляют собой оставшиеся в тени развития физико-математической науки результаты, которые неожиданным образом образуют связное целое и смысл при снабжении их эмпирией фрактальной геометрии.

Пространство-время техногенных систем состоит из двух числовых систем с противоположными порядками – вещественных R и 2-адических чисел Z_2, которые объединены в единую самодвойственную числовую систему $Q_2^{\#} = R \times Z_2$, которая образована числами вида:

$$x = a_{-n} \cdot p^{-n} + a_{-n+1} \cdot p^{-n+1} + \ldots + a_{-1} p^{-1} + a_0 + a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2 + \ldots + a_k \cdot p^k + \ldots = \\ = \sum_{i=-n}^{\infty} a_i \cdot p^i \qquad a_i \in A = \{ 0, 1, 2, \ldots, p-1 \} \tag{1}$$

Точно так же одинакова позиционная запись обоих видов чисел в виде слов:

$$x = a_{-n}a_{-n+1}\ldots a_0 a_1 \ldots a_k \ldots \qquad (2)$$

Разложения (1)-(2) имеют двойной смысл. При чтении справа налево или с обратной стороны листа они превращаются в правильную запись вещественных чисел. Иными словами, два вида чисел связаны *инверсией-отрицанием*, меняющей порядок чтения/записи. В предлагаемой модели (1)-(2) числа рассматриваются частично как p-адические, частично как вещественные, т.е. их можно читать с обеих сторон листа. Например, с $n>0$ вправо разложение представляет собой p-адическое число, влево – вещественное. Формы (1)-(2) являются также числовым и бескоординатным прототипом *итеративной системы функций*, которая является основным генератором фракталов и перекрестком физики, языка, биологии и т.п., где она известна под видом иерархии. Её действие – делимость материи, декомпозируемость систем, различение и границы, нарушения связности. Впервые такую интерпретацию p-адических чисел в 1955 г. предложил С.Улам при исследовании мультипликативных процессов, возникающих в цепной реакции деления [6]. Бесконечное деление приводит к нульмерным множествам или фракталам.

Позже два российских ученых – химик И.В.Тананаев и математик А.Н.Паршин значительно расширили интерпретацию Улама таким образом, что p-адические числа обрели системно-ценологическое содержание. Тананаев предложил считать размер частиц, получающихся при делении, отдельной степенью свободы, поскольку при таком движении меняются качества материи. Это движение становится, таким образом, аналогичным фазовому переходу или химической реакции, производящей новое вещество-качество. Тем самым ось делимости приобрела статус линии философских мер – узлов развития. Известно, что мерой философы называют единство количественного и качественного, которое определяет границы развития целого. Мера есть количественный интервал в рамках заданного качества. Паршин проинтерпретировал дерево 2-адических чисел как единство противоположностей и показал, что оно «растет» как в материальном, так и в идеальном мире.

Содержание координат узлов развития дано С.И. Сухоносом в виде масштабной оси или М-оси [7]. Их анализ с точки зрения динамики описан в [8]. В частности, *p*-адические числа образуют внутреннее пространство систем/объектов, дополнительное к внешнему. Эти два способа введения координат хорошо известны. Можно по карте указать координаты точки, а можно выписать её адрес по цепочке: страна, область, город, улица, дом, квартира. Этот же способ адресации применяется в сети интернет. Поэтому, как и фракталы, *p*-адические числа, как их числовое содержание – встречают повсюду. *p-А*дические числа как нульмерные множества не имеют физических свойств, они невидимы, неслышимы, неосязаемы, являются числовыми кандидатами на роль полей различной природы – физических (электромагнитных, гравитационных, и т.п.), морфогенетических в биологии, различных лингвистических. Причем все эти разнородные поля сосуществуют в каждой точке физического пространства, т. е. *p*-адические числа *многомодальны*. Поэтому числовые системы математики составляют пару «материальное – идеальное». Иными словами это пространство включает в себя как материальные так и мыслительные процессы техногенных систем – движение оборудования, проектирование технологий, принятие решений различного уровня и т.п.

Двойственность числовых систем влечёт двойственность измеряемых величин, которые являются формальными функциональными аналогами универсальной пары процессов «*конвергенция – дивергенция*». Вещественные числа получаются из (1)-(2) сложением/интеграцией всех разрядов и тогда все цифры исчезают, *p*-адические – различением цифр/дифференциацией в позиционной записи. Величины (нормы/метрики) этих чисел имеют вид

$$x \in R, \quad \left| x \right|_{\infty} = \left| x \right|, \quad \xi \in Z_2, \quad \left| \xi \right|_2 = p^{-\alpha n}. \tag{3}$$

Точнее, для *p*-адических чисел существуют две метрики – аддитивная и мультипликативная:

1. Аддитивная метрика даёт координату узлов развития материи/объема понятия на *экстенсиональной* оси:

$$\nu_p(\xi)=ord_p(\xi)=-n=-\ln|\xi|_p^\alpha \;\Rightarrow\; \nu_p(\xi+\eta)\geq \min\{\nu_p(\xi)+\nu_p(\eta)\} \qquad (4)$$

2. Мультипликативная даёт размер подсистем или объем денотатов на *интенсиональной* оси:

$$|\xi|_p^\alpha = p^{-\alpha\cdot n}, \quad \alpha>0 \;\Rightarrow\; |\xi+\eta|_p^\alpha \leq \max\{|\xi|_p^\alpha, |\eta|_p^\alpha\} \qquad (5)$$

Следует отметить, что процесс восприятия мира человеком, также имеет двойное кодирование. Он заключается в том, что вербальные структуры (логика, алгоритмы (технологии), линейное письмо) дублируются образным представлением – памятью на значения слов [9]. Иными словами, фрагмент мира запоминается «снизу» линейно алгоритмически и «сверху» картой значений, т.е. совокупностью/картиной материальных объектов. Этими способами восприятия пользуются все естественные науки. Оба эти способа восприятия отражаются выбранной моделью числовой асимметрии – они совпадают с метриками двух основных числовых систем. Решение этого нетривиального вопроса требует отдельной работы, несмотря на то, что основные нужные для этого теории составляющие части, по-видимому, наличествуют.

В частности, нетрудно видеть, что *объект* – естественный или технический, в пространстве числовой асимметрии представляется следующим образом:

$$S \equiv \xi_0\xi_1\ldots\xi_n \circ B_r(\xi) \qquad (6)$$

Здесь префикс $pr_s = \xi_0\xi_1\ldots\xi_n$ является именем системы/объекта, аналогичным паспортам людей, которые остаются неизменными и общими для всех их подсистем. Выражение (6) определяет информационный компакт. Тогда напрашивается формальное определение *системы как информационно замкнутого множества объектов*. Здесь все члены определения имеют формальные референты в отличие от широко распространенного «система есть множество *каким-либо образом* связанных объектов». Радиус шара B_r, т.е. расстояние между подсистемами не меняет свойства информационной замкнутости-открытости, т.е. системности.

Если не учитывать генезис, то на вещественной оси нормы $|x|_\infty$ и $|\xi|_2$ неотличимы. Нетрудно проверить, что эти две величины связаны гиперболическим отношением, известным как степенные законы, которое позволяет их различать по поведению:

$$|x|_\infty = c \cdot |x|_2^{-D}, \tag{7}$$

где D – фрактальная размерность.

Эта форма зависимости норм/метрик измеряемых величин является общей для ранговых и видовых распределений, составляющих основной аппарат ценологии [3]. Взаимная неопределимость числовых норм/метрик в (7) лежит в основе невозможности представления устойчивых распределений, H-распределений в виде функций. Как показывает простое сравнение, степенные зависимости (7), ранговые и видовые распределения получают одинаковой организацией измерительных процедур – подсчётом частей и сравнением их с целым. В целом все безгранично-делимые распределения и распределения сумм независимых случайных величин являются вариацией известной проблемы Платона «целое-часть», и (7) есть её числовое представление.

В итоге, поскольку порядок двух числовых систем взаимообратный, измеряемые величины реализуют *два вида причинности*, известные как *сжатие, агрегация, материализация* и *расширение, диссипация*, *дематериализация* – синонимы универсальной пары процессов, порождаемых универсальной парой сил *притяжения – отталкивания*. Тогда противонаправленность (отрицание) можно понимать как дополнительность, при которой объединяются виды причинности, направления времени, топологии, членов оппозиций. Совмещение двух способов координатизации: физической и p-адической, даёт основание для адекватного учёта геометрии системно-ценологического пространства – оно становится локально гиперболическим, глобально – проективным (проективной плоскостью).

Формально имеем:

$U = R\times Z_2$, $u = x\cdot\xi$, $x\in R, \xi\in Z_2$ – пространство и представление рационального числа через вещественные и p-адические числа;

$P^2(R) = R^2 \cup P^1(R)$ – проективная плоскость в геометрии;

$R = inv Z_2 = \neg Z_2$ – «оси координат» U. (inv – инволюция, $\neg$ – отрицание); (8)

$\| u \| = | x |_\infty \cdot | \xi |_2$ – общая формула числа.

Любое утверждение логики $P(x,t,f,g,\dots)$, формулы, уравнения, имеет смысл в обеих числовых системах:

$$R \leftarrow P(x,t,f,g,\dots) \rightarrow Z_2, \tag{9}$$

в частности:

$$2 = |2|_\infty \in R \leftarrow 2 \rightarrow |2|_2 = 2^{-1} \in Q_2^{\#}.$$

Для мер неопределённости: вероятности *prob* и возможности *poss* с мерами Лебега и Хаара имеют, соответственно:

$$Th\ prob(\mu_L) \xleftarrow{\wedge} Q_2 \xrightarrow{\vee} Th\ poss(\mu_{Haar}), \tag{10}$$

а для логики: классической и Пресбургера, соответственно:

$$CL \xleftarrow{\wedge} Q^{\#}{}_2 \xrightarrow{\vee} AP. \tag{11}$$

Выражения (9-11) соответствуют принципу переноса, включающего в себя принцип двойственности для решёток (сетей) [1].

Многомодальность p-адических чисел имеет вид:

$$Z_2 \cong Z_2 \times Z_2 \times \ldots \times Z_2 \cong (Z_2)^N \text{, для любого счётного } N. \tag{12}$$

Здесь каждому сомножителю может соответствовать свое поле и своя ультраметрика (3), определяющая степень возможности – материальной проявленности того или иного фактора.

Общая формула, дающая возможность связать воедино иерархию, топологию, показатели степени распределений (7), дана А.Робертом [10]. Она представляет детализацию итеративной системы функций в направлении создания евклидовых образов/объектов. Как показывает её вид, все материальные преобразования проистекают их идеальной сферы. В технетике, соединяющей технологию, технику, материалы, продукцию и отходы [5], – определяются проектами и принятием решений.

$$\varphi_{\nu,b} : Z_p \mapsto E: \ \sum_{i\geq 0} a_i \cdot p^i \mapsto \theta \cdot \sum_{i\geq 0} \frac{\nu(a_i)}{b^{i+1}}, \quad b \geq p \tag{13}$$

В (13) параметры θ, b, i – могут интерпретироваться с помощью понимания их с понятиями *H*-распределениями ценологии. Точнее $\nu(a_i)$ – векторизованные цифры, параметры сдвига, задающие разметку евклидова пространства *E*, а θ – масштабный множитель, задающий диаметр фрактального множества. Положив $b = p^{\alpha}$ $\alpha \geq 1$ при различных α, получим различную степень интеграции системы $F \subset E$ во внешней среде, т.е. различные наборы параметров сдвига и масштаба порождают различные визуальные образы фракталов, т.е. различные размеры и структуру технических объектов.

Система *F* состоит из самоподобных копий [2], которые задаются итеративно:

$$F_1 = \bigcup_{\nu} (\theta \cdot \frac{\nu}{b} + \frac{F}{b}) = \bigcup_{\nu} (\theta \cdot \frac{\nu}{b} + \frac{1}{b} \bigcup_{\nu} (\theta \cdot \frac{\nu}{b} + \frac{F_1}{b}) . \tag{14}$$

Выражение (14) может использоваться как множество-носитель, соответствующий распределению ресурса. Аналитическими операциями из (6) возможно получать нужные в каждом конкретном случае результаты.

Время в теории систем и ценозов имеет два направления течения *T*:

$$t \times \tau \equiv \left| T \right|_{\infty} \cdot \left| T \right|_{2} = const , \quad R \leftarrow T \rightarrow Z_2 . \tag{15}$$

Одно из них *t* можно назвать физическим, второе τ - системным, биологическим. По аналогии с двумерной системой координат (X,Y) представленной комплексными числами – аддитивной версией связи осей $z = x + i \cdot y$, также связаны оси времени $t = i \cdot \tau$.

Вообще говоря, соотношения типа (3,4,5) неединственны в том смысле, что варианты их числовых значений определяются разнообразием конкретных формальных выражений для составляющих его числовых метрик. Существует большое количество способов измерений, принятых в естественных науках [11], которые, однако, не соотнесены с двумя основными математическими числовыми метриками. Включение их в контекст числовой асимметрии дело отдельной и очень важной работы, как для теории систем, так и для частной дисциплины. Мы, упрощая ситуацию, с целью удержания смысла, априори положим, что все частные метрики могут быть расклассифицированы нужным образом и используемые нами числовые метрики имеют своим содержанием способы измерений в естественных науках. Этот шаг оправдывается тем, что способы измерений формально совпадают со способами человеческого восприятия [1]. Поэтому мы ограничимся стандартной их версией.

$|T|_{\infty} \propto t$ – физическое время движения в евклидовом пространстве. (16)

Системная ось времени – это время развития. Она, как и p-адические числа неопределима в вещественном пространстве и, поэтому, может считаться мнимой осью, мнимым временем. Полагая нормировку p-адических чисел плотной, т.е. уровни занумерованными не целыми, а рациональными числами $q \in Q \subset R : q = a_0 a_1 \ldots a_n$, т.е. конечными строками цифр разложения (1), получим мнимую числовую ось времени. Эта ось τ_0 дается аддитивной версией p-адической метрики (3) и определяет скорость декомпозиции, развития системы:

$$\tau_0 = \alpha \cdot q \tag{17}$$

$$t = i \cdot \tau_0 \text{, где } i = \sqrt{-1} \tag{18}$$

Мультипликативная норма (4) дает второе системное время $|T|_2^{\alpha} \propto \tau_1$, определяющее количество и размеры подсистем на уровне $\tau_0 = \alpha \cdot q$. По отношению к физическому линейному времени оно оказывается замкнутым, т.е. циклом гомеоморфным окружности:

$$|T|_2^{\alpha} \propto \tau_1 = 2^{\alpha \cdot q} = \exp(i \cdot \alpha \cdot t \cdot \ln 2) \tag{19}$$

Это локально соответствует понятию жизненного цикла системы. Циклы вообще являются одной из вездесущих естественных геометрий природы [12,13].

Таким образом, приходим к характеристике В.И.Вернадского о времени естественных систем как прерывисто-непрерывном, циклическом и необратимом [14]. Физическая формализация двух времен – внешнего и внутреннего, разрабатывалась И.Пригожиным [15]. В итоге, очевидно, что *U* есть пространственно-временно́й фрактальный континуум систем, порождаемый числовой системой Z_2, т.е. идеальным пространством.

Определение системы и ценоза следует как набор «вариантов инварианта» – присутствия канторова совершенного множества в различных разделах математики и его изоморфа 2-адических чисел Z_2:

$$\begin{aligned} &C \cong C_{matter} \cong \exp(C) \cong 2^C \cong Z_2 \cong [IFS \equiv \{0,1\}^N] \cong \\ &\cong [Z_2 \to Z_2] \cong C(Z_2, Z_2) \cong H \cong C_{Bool} \cong C_{Stone} \equiv C \end{aligned} \tag{20}$$

здесь знаки эквивалентности (изоморфизма) означают по порядку слева направо: C_{matter} – модель делимой материи – точный геометрический фрактал, *C* является экспоненциально полным, т.е. механические преобразования материи не меняют её числовой природы. Такое распределение материи представляет собой спектр функций истинности булевой алгебры. Это материя с числовыми свойствами, Z_2 есть топологическая алгебра. Такое строение материи (нульмерное, дисконтинуальное, фрактальное) совпадает с формальными языками теоретической информатики, является доменом в теоретической информатике (итеративная система функций – *IFS*, является центральной техникой порождения фракталов). Это символическое пространство, область действия символической динамики. Как решётка она совпадает с пространством непрерывных функций над собой – $[Z_2 \to Z_2] \cong C(Z_2, Z_2)$. Такой числовой или алгебраический образ материи представим своим полем непрерывных функций по теореме о двойственности Стоуна – $C_{Bool} \cong C_{Stone}$. Множество *2*-адических чисел представляет собой гильбертово пространство с ортонормированным базисом в виде системы ван дер Пата. Оно изометрически вкладывается в гильбертово пространство – H и в пространство функций. Это значит, что его элементы допускают интерпретацию в виде векторов гильбертова пространства и в виде функций. Тем самым p-адические числа можно рассматривать как банахову алгебру с инволюцией, то есть C^* – алгебру. Поскольку R является гильбертовым пространством и решёткой, а инволюция меняет порядок на решётке, то, согласно принципу двойственности для частичного порядка, $Z_2 = inv\ R$ сохраняет истинность утверждений. Z_2 – дисконтинуальная версия гильбертова пространства. В таком виде Z_2 является также и булевой алгеброй – основой символьной техники (по той же теореме Стоуна). Фрактальное распределение материи как эквивалентное, по формулировке М.Стоуна, булевой алгебре, есть оборотная сторона канторова множества как фрактальной модели материи [1].

Тогда *формально определить систему и ценоз* можно, используя рефлексивные свойства p-адических чисел:

$$\begin{aligned} &\forall n \in N, \forall p = 2,3,\ldots,43,\ldots \quad Q_p \cong Q_p \times Q_p \times \ldots \times Q_p = Q_p^n \\ &и \quad Z_p \cong Z_p \times Z_p \times \ldots \times Z_p = Z_p^n \end{aligned} \tag{21}$$

(Эти два изоморфизма известны как парадокс Банаха-Тарского о разрезании шара на два других такого же объёма). Множители в (21) могут быть выраженными различными цифрами, т.е. языками (см. (8-11)) с сохранением изоморфизма. Тогда получается известное определение системы (ценоза) как объекта, для описания которого требуется множество несводимых друг к другу языков (см. выше варианты понимания ценоза). Кроме того, полагая в (21) сомножители, равными одному из изоморфов (20) мы получим представление множества свойств (или граней) одного C – фрактального объекта. Отметим особо, что p-адические числа являются интерпретацией арифметики Пресбургера [16] – *полной и непротиворечивой формальной системы*, которая содержит взаимно отрицающие *истинные* утверждения. Таким образом, определение понятия системы (ценоза) получается сведением языков/структур из различных разделов математики, имеющих общую основу. Противоречивый вариант теоремы Гёделя логически содержателен и непротиворечив в числовой асимметрии и дает основания для разработки системной (ценологической) теории. Изъяном этого понимания системы (ценоза) является общий для всей математики недостаток – отсутствие математической модели периодической таблицы Менделеева, которое остро встает при создании системной теории материи. Однако и в этом направлении усматривается согласование базовых фактов [17].

Из самодвойственности $Q_2^{\#}$ следует, что система (ценоз) существует одновременно в двух состояниях – материальном и информационном (тонком, ультраметрическом). Соответственно, задачи «структурный эквивалент функции», «материальный эквивалент функции», «материальный эквивалент языка» являются системно-специфическими и входят в состав системных инвариантов. Они являются основой целевого подхода, принятия решений и т.п. нефизических преобразований системы.

Метапозиция – понятие, имеющее ключевое значение как для управления производством, так и для формулирования целей, задач и ограничений на него. Она проистекает из *дейксиса.* Дейксис – понятие языкознания, означает координаты «здесь и сейчас», то, что имеет ввиду говорящий, контекст, неявно присутствующий в наличной речевой деятельности. Математика является редуктом естественного языка, и её так называемая «непостижимая эффективность» проистекает из природы естественного языка как *alter ego* внешнего мира [18]. Современная физико-математическая наука сформировалась в экспериментально-лабораторном пространстве [19]. Поэтому она требует обозримости и алгоритмической эффективности теории, сопоставимости с лабораторным человеческим пространственно-временным кругозором. Тем самым методы становятся локальными и относительно простыми. Человек, отдалённые последствия и эффекты, связь с внешней средой исключаются из хода процесса и, соответственно, из теории требованием чистоты эксперимента. Системные (ценологические) же объекты решительно не вписываются в этот лабораторный кругозор. Они не допускают экспериментального изучения – нет воспроизводимости, число степеней свободы не поддаётся перечислению и человек оказывается включённым в динамику. Системы (ценозы) наблюдаемы двояко – снаружи и изнутри. Эта двойственность пока не формализована. Детальное её рассмотрение в экономике, под видом субъектной или рефлексивной позиции изложено в [20] и его же монографии [21]. Известно, что в p-адическом шаре (объекте, системе, ценозе) любая точка является его центром. Это значит, что система, производство могут наблюдаться и моделироваться одновременно снаружи и изнутри, согласовывая эти противоположные движения. Таким образом, в зависимости от собственных целей системы управление может передаваться любой из её подсистем, в зависимости от внешних целей и ограничений управление может осуществляться извне. Эта техника известна как инверсия тела в идеальном пространстве.

Математический анализ двойственности систем мы покажем на примере уравнения непрерывности *CE* (*x,y,t,…*) *– (continuity equation – CE)*. Любые уравнения начинаются с установления баланса для заданной физической величины. В нашем случае системы (ценозы) изменяются под действием внешних и внутренних факторов. Из всех уравнений баланса наиболее общим представляется закон сохранения массы (несмотря на то, что понятие материи и массы до сих пор не формализовано). Известно, что этот закон справедлив для всех экстенсивных физических величин – массы, заряда, момента и т.д. Это, в свою очередь, значит, что он не зависит от размерностей физических величин и является чисто геометрическим фактом – преобразования массы из конвергентного состояния в дивергентное. В этом смысле закон сохранения массы имеет междисциплинарный характер и его применение в теории систем (ценозов) напрашивается само собой. Изоморфизм $R \cong Z_2$ к тому же оправдывает принцип переноса. Имеем диаграмму

$$CE(\rho, V) \xleftarrow{\wedge} m = \int_V \rho \cdot \pi \cdot dV \xrightarrow{\vee} CE(\pi, V^*) . \qquad (22)$$

Здесь, m – масса, ρ – плотность, π – мера возможности, V и V^* – представления объемов в двух подпространствах числовой асимметрии.

Конструкция интеграла (22) предполагает предварительное, до акта суммирования, существование его слагаемых. Отсюда получается уравнение неразрывности для объёма, записанного в обоих типах переменных:

$$CE(\rho, x, t) + CE(\varphi, \xi, \tau) + CE(V(x, \xi, t, \tau)) = 0 \quad \text{или}$$

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + div_E\, \rho \cdot v\right)\pi V + \left(\frac{\partial \pi}{\partial \tau} + div_U \pi \cdot v\right)\rho \cdot V + \left(\frac{\partial V}{\partial \tau} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial x}\right) = 0 \qquad (23)$$

Здесь нижние символы у производных маркируют E – евклидово пространство, U – ультраметрическое; ρ – плотность, v – скорость частицы, x – координата евклидова пространства, ξ – координата ультраметрического пространства, t – физическое время, τ – системное время, V – переменный объем.

Первое слагаемое в (23) выражает геометрию объема (массы, «жидкости материи») через плотность массы, второе слагаемое – «жидкость вероятности» через возможность, третье слагаемое выражает объединение двух подпространств «течения», имеющее также вид уравнения неразрывности.

Отметим, что выражение (23) тесно связано с понятиями системообразующего фактора систем (ценозов).

Отдельно поясним *теорию возможностей*, которая, как и числовая асимметрия U является билингвой. В её основе лежит полное совпадение её аксиом со свойствами ультраметрики p-адических чисел (5) и неопределимость ультраметрики над полем вещественных чисел, позволяющих говорить о математическом содержании понятия *возможности* как о модели неопределимости, т.е. случайности.

Теория возможностей раскрывает неопределённость, возникающую на оси декомпозиции/делимости/углубления в детали, и поэтому является в точности дополнительной к теории вероятностей, с заменой меры Лебега на неразличимую от неё на вещественной оси меру Хаара (10). В (10) в качестве единицы системного универсума естественным образом появляется число “золотого сечения”, 5-лучевая симметрия и тесно с ним связанные числа Фибоначчи [22,23].

Большие системы природно-технические, социально-эколого-экономические, геополитические, как правило, не имеют фиксированного объёма в обычном физическом смысле при огромном числе подсистем и составных частей. Естественной характеристикой их размера является структура, с которой, связываются все характеристики и свойства системы. Структура систем (ценозов) формализуется матрицами смежности, достижимости и другими графо-теоретическими матрицами [24]. Такая формализация наиболее подходит для описания динамики систем (ценозов). Отметим также, что дифференциальное исчисление матриц практически полностью повторяет обычное.

Одна из важных задач, возникающих при создании и эксплуатации больших природно-технических и им подобных систем (ценозов) – согласование развития/изменения системы (ценоза) с изменениями внешней среды. Эта задача определяет как саму возможность погружения системы (ценоза) в данную обстановку, так и экологический аспект проблемы – влияния функционирования системы (ценоза) на внешнюю среду. Более сложный и глубокий аспект этой проблемы заключается в оценке способности внешней среды к утилизации побочных эффектов функционирования системы (ценоза). Эта проблема выводит в специальную область технетики, включающей технологию, технику, материалы продукцию и отходы [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маврикиди, Ф.И. Числовая асимметрия в прикладной математике: фракталы, p-адические числа, апории Зенона, сложные системы/Ф.И. Маврикиди.– М., Дельфис, 2015. – 416с.
2. Хорьков, С. А. Проблема расчёта электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, модели и методики для её решения: монография /С. А. Хорьков.– Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2019. – 128с.

3. Кудрин, Б.И. Математический аппарат общей и прикладной ценологии и философское осмысление фундаментального природного закона гиперболичности видового и рангового распределений//Не новые новости. Вып. 55. «Ценологические исследования» – М.: Технетика, 2015. – С. 137-157.
4. Блюменфельд, Л.А. Решаемые и нерешаемые проблемы биологической физики. Изд.стереотию/Л.А. Блюменфельд.– М.: Едиторал УРСС, 2014. – 160с.
5. Кудрин, Б.И. Философия технетики: основания постнеклассической философии техники./Б.И.Кудрин. Вып.6 «Ценологические исследования». – М.: Технетика, 2007. – 196с.
6. Улам, С. Нерешённые математические задачи/С. Улам.– М.: Наука, 1964. – 168с.
7. Сухонос, С.И. Масштабная гармония Вселенной/С.И. Сухонос.– М.: Новый мир, 2015. – 215с.
8. Коваленко, В.В. Частично инфинитное моделирование: основания, примеры, парадоксы / В. В. Коваленко. - СПб. : Политехника, 2005.-479с.
9. Панов Е.Н Знаки, символы, языки/Е.Н. Панов.//2-ое изд., доп. – М.: Знание, 1983. –248с.
10. Robert, A. A Course in p-Adic Analysis. Springer, 2000, P.17-19.
11. Deza, M.-M, Deza E. Encyclopedia of Distances. Springer, 2009.
12. Петрушенко, Л.А. Самодвижение материи в свете кибернетики./ Л.А. Петрушенко. – М.: Наука. – 1971. – 290с.
13. Лойфман, И.Я. Единство природы и круговорот материи./ И.Я. Лойфман, А.А. Стадник. – Свердловск, изд-во Урал. ун-та, 1988. – 204с.
14. Вернадский, В.И. Философские мысли натуралиста/ В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1988, 520с.
15. Пригожин, И. От существующего к возникающему: время и сложность в физических науках/ И. Пригожин. //Пер. с англ.Под ред. Ю.Л. Климантовича. – М.: Наука. Гл.ред. физ.-мат. лит.1985. – 327с.
16. Macyntire A. Twenty Years of p-Adic Model Theory// Logic Colloqium’84. J.B. Paris, A.J. Wilkie, G.M. Wilmers (eds.), Elsevier, NH, 1986.
17. Изотов, А.Д. Числовое представление фракталов в физико-химии материаловедения/ А.Д. Изотов, Ф.И. Маврикиди //РЭНСИТ 2019, том 11, №3. – С.313-328.

18. Постовалова, В.И Язык и миропонимание. Опыт лингвофилософской интерпретации/В.И Постовалова. – М.: Ленанд, 2017. – 312с.
19. Пономарев, Л.И. Под знаком кванта./ Л.И.Пономарев.– М., Физматлит, 2005. – 416с.
20. Попков, В.В. Двойственность: концепция и методы познавательной модели. В кн. Системный поход в современной науке. – М.: Прогресс-Традиция, 2004. – С. 235-253.
21. Попков, В.В. Экономический конструктивизм. Ускользающая реальность: что кроется за объективностью экономической науки. – М.: УРСС, 2014. – 200с.
22. Изотов А.Д. Числовая асимметрия внутреннего пространства некристаллических материалов/ А.Д.Изотов, Ф.И. Маврикиди //Известия Самарского научного центра РАН. 2017, №1. – С.3-24.
23. Изотов, А.Д. Числовое представление фракталов в физико-химии материаловедения/ А.Д. Изотов, Ф.И. Маврикиди //РЭНСИТ, 2019, №4. – С.317-328.
24. Изотов, А.Д. Математический базис инновационных технологий нефтегазовой промышленности/ А.Д. Изотов, Ф.И. Маврикиди, С.А. Хорьков // Управление техносферой: электрон. журнал. 2019. Т.2. Вып. 4. URL: f-ing.udsu.ru/technosphere

2. ТРАКТАТ О ЦЕНОЗЕ*

Аннотация. Отмечено, что общепринятого определения ценоза не существует, поскольку понятие ценоза противоречиво. Показано, что противоречие в понятии и модели ценоза возникает потому, что величина распределенного в элементах ресурса конечна и аддитивна, а распределение элементов по степенной зависимости (по гиперболе) мультипликативно и стремится к бесконечности. Показано, что работать с противоречивой моделью возможно, если указать на такой реально или идеально существующий объект (форму объекта), который являлся бы моделью и сочетал бы в себе противоположные стороны, т.е. сочетал одновременно и конечное, и бесконечное. Кроме того, такая модель позволяла бы дать такое разъяснение значений и смыслов, придаваемых её элементам, которое без указанной модели получить невозможно. Модель, отвечающая указанным требованиям, названа паранепротиворечивой. Приведены виды паранепротиворечивых статических и динамических моделей ценоза, с которыми работают на практике.

Ключевые слова: ценоз, паранепротиворечивая модель ценоза.

Введение в ценозы

Под ценозом понимают систему (сообщество) элементов, между которыми установлен некоторый вид связи. Эта связь обусловлена распределением некоторого ресурса между элементами. Ресурс может быть материальным, энергетическим или информационным. Не любое сообщество элементов со связями является ценозом, а лишь такое, элементы которого подобны друг другу и тому целому, которое они образуют. Отсюда – связи порождают иерархическую ветвящуюся и соответствующую ей гиперболическую структуру. Элементы ценоза могут быть охарактеризованы тем, что они принимают (воплощают в себе) определенное количество ресурса, а связи – показывают каковы отношения между элементами и каким образом ресурс распределён в ценозе.

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. Трактат о ценозе / С. А. Хорьков // Промышленная энергетика. - 2019. - № 11. - С. 37-42.

Трактат опирается на работы Кудрина и его учеников, а также на работы математиков Колмогорова, Хинчина, Гнеденко, Прохорова, Громова, Леви, Мандельброта, Шредера и многих других. Ссылки на эти работы опущены, поскольку они занимают значительное место. Однако они всегда могут быть восстановлены. Некоторые положение трактата ранее были опубликованы в печати. При написании трактата авторы решил отказаться от написания формул.

Противоречие в понятии и в модели ценоза

Общепринятого определения ценоза не существует. И это следует объяснить не столько множеством признаков, которые стараются увязать в одном определении, что сейчас сделать чрезвычайно трудно (или даже невозможно), сколько тем, что ценоз в некотором смысле внутренне противоречив. Противоречие возникает потому, что величина ресурса принимаемого ценозом обозрима, т.е. конечна и аддитивна и её можно выразить числом, а гиперболическое распределение элементов, составляющих ценоз, мультипликативно и стремится к бесконечности. Модель, объединяющая конечное аддитивное и бесконечное мультипликативное, внутренне противоречива. Однако, если оговорить форму модели и некоторые условия её употребления, то с такой моделью инженер может работать, не испытывая внешних и внутренних неудобств. Для этого необходимо указать на такой реально или идеально существующий объект (форму объекта), который являлся бы моделью и сочетал бы в себе противоположные стороны, т.е. сочетал одновременно и конечное, и бесконечное. Кроме того, такая модель должна иметь приемлемую интерпретацию. Другими словами, – модель позволяла бы дать такое непротиворечивое разъяснение значений и смыслов, придаваемых её элементам, которое без указанной модели получить невозможно. Модель, отвечающая указанным требованиям, назовем паранепротиворечивой.

Виды статических и динамических моделей ценоза

Существуют статические и динамические модели ценозов. Статические модели показывают, как сопряжены ресурсный и структурный уровни ценоза.

Эти модели помогают ответить на вопрос: почему при накопленной величине ресурса структура ценоза приобретает строго определенный вид. Динамические модели показывают, как формируется структура ценоза во времени. Для инженера важно построить такую форму статической модели ценоза, которая позволяла бы приемлемым способом соединить ресурс и его распределение. Такой моделью является паранепротиворечивая модель, объединяющая конечный ресурс и его распределение на теоретически бесконечном пространстве или в теоретически бесконечной сети. Конкретных вариантов таких двухслойных моделей может быть несколько. Их примерами будут: числовая, геометрическая, алгебраическая и термодинамическая модели. Модель динамики ценоза показывает, как формируется иерархическая структура во времени. Очевидно, что и динамических моделей также может быть несколько. Наиболее известны из них: вероятностная модель ветвящихся процессов, модель на основе динамических гиперболических систем и фрактальная модель. Поскольку одной из задач ценологии является установление статистической устойчивости ценоза, то к динамическим моделям следует отнести вероятностную модель устойчивых законов распределения.

Статические модели ценоза

Паранепротиворечивые статические модели ценоза ориентированы на сопряжение конечного и бесконечного в едином объекте.

В качестве такой модели ценоза может выступать числовая модель. Поле рациональных чисел может быть расширено (пополнено) при помощи числовых норм в двух и только в двух направлениях. Одно пополнение называют полем вещественных чисел, а другое – полем p-адических чисел. На поле вещественных чисел получают модель величины конечного ресурса, а на поле целых p-адических чисел, интерпретируемом в виде бесконечно ветвящихся деревьев, получают модель распределения ресурса. Обе модели исходят из одного основания – поля рациональных чисел. Заметим, что рациональные числа является «физическими» числами, поскольку именно в этих числах представляют результаты физических измерений. Распределение элементов иерархической ветвящейся структуры имеет экспоненциальное распределение. Распределение уровней иерархической ветвящейся структуры имеет гиперболическое распределение.

Числовая модель ценоза позволяет установить его гиперболическую структуру, а также, получить закон масштабирования, связывающий через гиперболический инвариант два различных ресурса на одной и той же иерархической структуре. В этом случае инвариантом является и логарифм одного ресурса по основанию другого ресурса.

Формы, в которых одновременно воплощены конечное и бесконечное известны в геометрии. Геометрической моделью ценоза является гиперболическая модель. Ортогональные сечения гиперболоида и его асимптотического конуса имеют вид окружности и гиперболы. Площадь окружности сечения позволяет представить конечную величину части ресурса, а гипербола – соответствует иерархическому распределению ресурса. Другая интерпретация геометрической модели показывает, что сечения (карты) расслоения гиперболического многообразия не могут накрыть это компактное пространство без разрывов.

Пользуясь грубым измерением расстояний (крупномасштабная геометрия), гиперболическое пространство ценоза, представляют иерархическим деревом (сетью) и гиперболической группой. Группа – есть множество с бинарной операцией, отвечающей требованиям ассоциативности, наличия нейтрального и обратного элемента. Гиперболическая группа – это конечно порожденная группа как гиперболическое метрическое пространство. Метрика на этом пространстве является словарной. Словарную метрику вводят через длины ребер графа Кэли гиперболической группы. Укажем некоторые свойства гиперболических групп. 1. Гиперболических групп много, гиперболическими являются случайные группы. Конечное групповое представление с большой вероятностью задает гиперболическую группу. 2. У гиперболических групп есть граница. Проще всего эту границу представить через множество точек ветвящегося дерева. Многие свойства группы восстанавливают по её известной границе. Например, множество Кантора – это граница безгранично делимого иерархического дерева. Если группа словесно-гиперболична, то её граница есть компактное конечномерное пространство. 4. Гиперболической группой являются плоскость Лобачевского. 5. Так как, тонкий треугольник является симплексом того комплекса, который представляет собой гиперболическое пространство, то гиперболическая группа является комбинаторной группой.

Определив ценоз через гиперболическую группу, переносят известные свойства этой группы на модель ценоза.

В термодинамике задачу поиска распределения ограниченного количества энергии по элементам некоторого сообщества решают вариационным методом. Обычно это задача на условный экстремум, она включает максимизируемый энтропиеобразный критерий, баланс энергии, представленный через составляющие элементы и выражение для конечной суммы всех элементов. В этой задаче стремление структурного критерия к максимуму (к бесконечности) и конечное значение ресурса связаны, поэтому она представляет собой одну из форм паранепротиворечивой статической модели ценоза. Решение задачи позволяет получить экспоненциальное распределение элементов в функции от количества принимаемой элементами сообщества энергии. Если количество, принимаемой элементами энергии представить через логарифм её величины, то полученное распределение принимает гиперболический вид. Такое распределение имеют уровни ветвления иерархического дерева.

Динамические модели ценоза

Динамические модели ценоза ориентированы на исследование формирования его иерархической структуры. Эти модели могут быть итерационными, либо с непрерывным временем. Вероятностная динамическая модель позволяет исследовать процесс накопления ресурса и формирования иерархической ветвящейся структуры. Получить такую модель можно, используя теорию ветвящихся процессов.

Способ получения динамической модели такой. Сначала фиксируют этапы ветвления иерархического дерева через накопление событий на них, а затем – через распределение временных промежутков, соответствующих рассматриваемому интервалу времени. Первый и второй подходы формализуют, затем формализованные выражения рассматривают совместно и получают динамическую модель ценоза. Для некоторых областей практической деятельности статистика, подтверждающей адекватность полученной модели, отсутствует. Этот факт является основной проблемой, препятствующей широкому распространению динамических моделей ценозов.

Вероятностная модель позволяет оценить статистическую устойчивость ценоза. Распределение ценоза называют статистически устойчивым, если независимые случайные величины, распределенные по этому закону, в сумме дают такое же распределение, что и его составляющие. Для устойчивого распределения ценоза, верно, и то, что свертка характеристических функций слагаемых распределений, дает характеристическую функцию с тем же распределением. Распределение ценоза называют безгранично делимым, если свертка с любым числом составляющих имеет такое же распределение, что и распределение составляющих. Очевидно, что распределение, полученное на ветвящемся иерархическом дереве ценоза, при числе элементов стремящихся к бесконечности, является устойчивым безгранично делимым распределением. Такое распределение относят к классу негауссовых распределений. Существенным отличием негауссовой статистики от гауссовой – является то, что её дисперсия бесконечна, а распределения с нормальным законом имеют конечную дисперсию.

Модель ценоза на основе динамических гиперболических систем также позволяет оценить структурную устойчивость ценоза. Динамическая система представляет собой множество элементов, для которых задана функциональная зависимость между временем и положением в функциональном пространстве. Гиперболическая динамическая система в качестве функционального – имеет гиперболическое пространство. Структурная устойчивость характеризует инвариантность структуры ценоза по отношению к малым деформациям. Для оценки структурной устойчивости гиперболической динамической системы используют гиперболический диффеоморфизм. Он представляет такое отображение гладкого многообразия в себя, у которого касательное пространство в любой точке представляют разложенным на два подпространства, одно из которых является растягивающим, а другое сжимающим. Гиперболическая динамическая система на гладком многообразии имеет такой гиперболический диффеоморфизм, что все неподвижные и периодические точки гиперболичны, а периодические точки, кроме того, всюду плотны.

Фрактальную модель ценоза можно рассматривать актуально, как законченную конструкцию или потенциально, – через итерации. Механизм построения фрактала итерационный, он позволяет перейти от одной точки пространства к следующей при помощи рекурсии. Фрактал открыт (увиден в Природе) Мандельбротом для того, чтобы измерять такие объекты, которые ранее считались неизмеримыми. Фрактал имеет свою меру, метрику и размерность. Мера и размерность фрактала хаусдорфовы. Мера фрактала обладает свойствами монотонности, полуаддитивности, аддитивности, однородности. Размерность фрактала удобно определить через конечную положительную меру. Она, как правило, является дробной. Распределение составляющих фрактала степенное и обладает скейлингом, т.е. оно масштабно-инвариантно. Это означает, что оно не имеет собственного масштаба, т.е. размер фрактала можно узнать, сравнив его с неким образцом-эталоном, имеющим строго определенный известный размер. Однородным функциям, обладающим масштабной инвариантностью, присуще интересное свойство: при изменении масштаба они воспроизводят сами себя. Существуют фракталы, имеющие структуру ветвящегося дерева. Если предположить, что на этой структуре распределён некий ресурс, то на фрактале определяют закон масштабирования. Это закон связывает два ресурса на одном носителе. Такая связь является степенной. Показатель степени этой связи есть инвариант, он представляет собой логарифм значения одного ресурса по основанию второго. Если считать, что ресурсы распределены на носителе неоднородно, то имеют дело с мультифракталом. Мультифрактал позволяет получить спектр инвариантов-показателей степеней. Фрактал, зависящий от времени, обладает свойством самоаффинности. Для такого реального фрактала находят показатель Херста, который связан с размерностью фрактала функциональной зависимостью. Реальные фракталы и ценозы имеют ограниченный диапазон существования. Выше и ниже определенных значений элементов закон самоподобия не выполняется и скейлинг разрушается по объективным причинам.

О практике применения ценозов и моделей ценозов

0. Ценозы представляют собой сложные системы (сообщества), в которых распределен материальный, энергетический, информационный ресурс. При получении ценозом ресурса формируется и эволюционирует иерархическая ветвящаяся структура. В некоторых случаях такую структуру нельзя наблюдать, но её всегда можно представить и воссоздать. Структура может состоять из нескольких иерархических деревьев. При определенных условиях структура может исчезнуть, выродиться. Если структура ценоза сформирована, то возможно построить её статическую модель. Элементы иерархического дерева распределены по экспоненте, а уровни ветвления имеют гиперболическое распределение. Ценозы встречают в природе, технике, экономике, социологии и других областях науки и практики. Следует предположить, что при формировании ценозов присутствуют явления самоорганизации.

1. Термин «ценоз» впервые появился в составе термина «биоценоз» ещё во второй половине 19 века. Понятие ценоз, как таковое, появилось и его стали употреблять во второй половине 20 веке. Появлению понятия предшествовали научные исследования сообществ с гиперболическими распределениями в частотной и ранговой формах. Эти распределения находили в экономике,

наукометрии, биологии, социологии, лингвистике, астрономии, информатике, технике и других областях науки и практики.

2. Широкое распространение понятия ценоза обусловлено вовлечением в сферу практики сложных систем (объектов, сообществ), состоящих из множества разновеликих частей (элементов), которые нужно проектировать, эксплуатировать и ремонтировать. Понятие ценоза позволяет работать с практически бесконечным рядом величин и объектов. До его введения понятийный аппарат позволял работать только с единичными объектами.

3.Практика ценологии связана с негауссовой статистикой. Устойчивость гиперболических распределений традиционно обосновывают через безгранично делимые распределения. В отличие нормального закона дисперсия гиперболических распределений бесконечна.

4. Паранепротиворечивые модели ценоза включают конечный ресурс и бесконечно ветвящуюся иерархическую структуру или сложную структуру, состоящую из нескольких деревьев. При разработке моделей ценоза необходимо учитывать, что конечное удобно суммировать, а бесконечное– повторять (итерировать). В модели ценоза конечное аддитивно и измеримо, бесконечное мультипликативно, присутствует только в тренде, и ограничено содержательными условиями. В реально существующих системах гиперболические распределения всегда ограничены.

5.Примерами паранепротиворечивых статических моделей ценоза являются: числовая, геометрическая, алгебраическая и термодинамическая модели. Примерами динамических моделей ценоза являются: вероятностная модель ветвящихся процессов, модель на основе динамических гиперболических систем и фрактальная модель.

6. Паранепротиворечивые модели ценоза позволяют относительно легко получить ответы на некоторые вопросы ценологии, а именно: о целостности ценоза, об установлении его границы, о самоподобии элементов, о гиперболическом распределении, о негауссовой статистике, о широком распространении гипербол, о соотношении экспоненциальных и гиперболических распре-

делений, о накоплении ресурса и появлении иерархической структуры, об устойчивости распределений в ценозе, об эволюции ценоза.

7. Приведем ответы на некоторые вопросы из пункта 6.

Целостность ценоза обусловлена иерархической структурой ветвящегося дерева. Границу ценоза устанавливают на основе реальной структуры такого дерева. Самоподобие элементов обусловлено уровнями ветвления иерархического дерева. Гиперболическое распределение есть распределение уровней ветвления иерархического дерева. Негауссова статистика обусловлена безграничным делением иерархического дерева. Слабые связи между элементами обусловлены связями между уровнями, узлами ветвления иерархического дерева. Распространение гипербол обусловлено широким распространением иерархических деревьев. Количество и размеры элементов иерархического дерева распределены по экспоненте, а уровни ветвления по гиперболе. Накопление ресурса идет по экспоненциальному закону, ему соответствует экспоненциальное распределение элементов и гиперболическое распределение уровней иерархического дерева. Статистическая устойчивость распределений ценоза обусловлена безграничной делимостью иерархического дерева. Эволюция ценоза связана со структурой иерархического ветвящегося дерева.

8. Ценозы не только находят в окружающем мире, их можно изобретать и проектировать. Для этого необходимо открывать и исследовать законы ценологии, а также разрабатывать на их основе, соответствующие методики.

3.СТЕПЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНОЗА И ВОСПРИЯТИЯ*

Аннотация. Показан подход к построению числовой модели ценоза и восприятия на основе степенного распределения. Показано, что степенные зависимости возникают как сопоставление двух способов измерения одного и того же объекта. Один способ позволяет измерить целое, другой – множество его частей. Результатом работы является двуслойная числовая модель и интерпретация результатов её исследования. Модель объединяет вещественную и *p*-адическую части. Наглядным образом модели является иерархическое дерево. Степенное распределение есть его числовой образ. Интерпретация результатов, полученных при помощи модели, показывает, что и ценоз, и восприятие содержит физическую и ментальную (нульмерную) части. Образом их единства является степенное распределение.

Ключевые слова: Степенное распределение, ценоз, восприятие, вещественная числовая модель*,* *p*-адическая числовая модель

Ценоз и восприятие человека имеют степенное распределение [1],[2],[3]. Уточнение свойств и характеристик этого распределения позволит получить новые знания о ценозе и восприятии.

В настоящее время общепринятое определение ценоза отсутствует. Примерами ценозов являются, фитоценоз, объединяющий ассоциации растений, биоценоз, включающий сообщества видов и их местообитание, биогеоценоз, объединяющий системы биоценологической и биогеохимической направленности и другие. По Кудрину ценоз есть конвенционно выделенный объект, элементы которого представляют собой сообщество, целостность [4]. Поскольку элементы ценоза самоподобны, то они могут быть вложены друг в друга. Другими словами, элементы ценоза имеют степенное распределение (гиперболическое распределение, *H*-распределение). С этой точки зрения степенные распределения Парето, Лотки, Вильямса, Брэдфорда, Ципфа, Мандельброта и другие описывают различные ценозы. Очевидно, что такое рас-

---

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков,С.А. Степенное распределение ценоза и восприятия / С. А. Хорьков // Промышленная энергетика. - 2019. - № 9. - С. 56-61.

ширительное понимание ценоза, предполагает одновременно структурирование вещества, энергии, информации, носителем которой является ценоз. К ценозам относят и сообщества искусственно произведенных изделий – техноценозы [4]. По степени сложности (иерархии связей между элементами) они в настоящее время существенно уступают биоценозам. С точки зрения системного подхода под ценозом следует понимать такую структуру со слабыми связями и самоподобными элементами, которая представляет собой целостность и способна эволюционировать [5].

Восприятие по Канту есть сознание с ощущениями, то есть восприятие превращает ощущения в чувственный образ того предмета, с которым контактируют рецепторы человека. Известны три психофизических закона, связывающих стимул (ощущение) и реакцию (восприятие): Вебера, Фехнера, Стивенса. Объединенному закону Вебера-Фехнера соответствует аддитивная, аффинная и мультипликативная группа преобразований. Закон Стивенса имеет степенной вид [2],[3].

Степенные распределения трансдисциплинарны. Их встречают во всех природных, социальных и технических системах и обнаруживают либо простым наблюдением, либо измерением. При этом отсутствует необходимость в применении специальной экспериментальной и теоретической техники. Поэтому объяснение их существования не может быть частным [6]. Степенные распределения неаналитичны. Они соединяют величины разной природы, физической размерности и топологии [3].

В качестве порождающей схемы степенных распределений выступают различные мультипликативные процессы, процессы с нарушением гладкости и связности, коммуникационные сети и сети множества взаимодействующих элементов. Степенные распределения связывают: частотность и частоту, амплитуду и частоту, мощность и частоту, периметр и площадь, площадь и объем [7].

Для объяснения степенных распределений применяют статистический и/или системный подход. Опора на стандартную теоретико - вероятностную технику при анализе степенных распределений встречает определенные трудности, поскольку природа этих явлений имеет неполное соответствие основам теории вероятностей. Системный подход помещает степенные законы в контекст идеи дополнительности и общего бинарного архетипа естественных наук [17]. Источниками самоорганизации и самодвижения являются оппозиции: целое-часть, локальное-глобальное, большое-малое и другие [3].

Перечисленные оппозиции являются формами проблемы Единое-Многое, поставленной Платоном в диалогах «Парменид» и «Тимей». Платон решил её, наделив Единое множеством противоположных определений. Очевидно, что между этими определениями должны существовать связи. Образом всех связей Многого в Едином может быть иерархическое дерево. Оно выражает связи-различия тех знаков, вещей, предметов, явлений, множество которых имеет общую границу Единого. Механизмом, порождающим иерархию, и инвариантом границ, является процесс деления. Следует заметить, что иерархические связи присущи как материальным, так и идеальным объектам. Большую роль в преобразовании дерева играет инверсия – особый вид симметрии, примером которой является преобразование плоскости относительно окружности. Эта симметрия может быть интерпретирована в виде связи пары внутреннее-внешнее сложных систем. Она позволяет получить новый образ иерархического дерева. Для этого необходимо присвоить порядковые номера, начиная с первого, уровням его ветвления (деления). Инверсия даёт ряд обратных чисел, который однозначно соответствует исходному ряду уровней дерева. Полученный ряд имеет гиперболическое распределение. Это распределение получают также на основе оппозиции большое-малое, которая представляет собой числовую форму топологической пары локальное – глобальное.

Выражением ограниченной делимости и соединимости является пара текст-слово. Текст потому и существует, что состоит из множества слов, а слова приобретают нужный смысл, лишь занимая определённое положение, среди других слов текста. Эмпирически установлено, что в хорошо осмысленных текстах имеет место степенное (гиперболическое) распределение слов. Теория вероятностей не имеет к этому распределению никакого отношения, так как слова не являются частицами, а текст не представляет собой ансамбля [3].

Иерархическая структура присуща процессам естественного распределения вещества и энергии. Бассейны крупных рек, ветвящиеся каналы молниевого разряда, различного вида биоценозы являются примерами такой структуры. Во многих случаях, в связи с этим, говорят о фрактальности природных объектов. Фракталы характеризуют скейлингом – степенным масштабно-инвариантным распределением [7], [8].

Безграничная делимость иерархического дерева Порфирия задает в философии языка структуру Сущности, которая для существования, не нуждается ни в каком основании, кроме себя самой [9]. Движение по иерархической структуре есть уподобление и различение знаков, вещей и предметов. Кажущаяся априорность степенных распределений, таким образом, обусловлена операциями различения и уподобления предметов, вещей и явлений на иерархическом дереве.

Буддистская сеть Индры, спонтанно создающая отражения внутри других отражений, творит бесконечную череду миров внутри миров. Тем самым она является точной метафорой фрактальной математики [18]. Отражение внутри другого отражения есть схема рефлексии и самоподобия. Сетевое строение такой конструкции является характеристикой её целостности, безграничного деления и основанием бесконечной динамики.

Следует отметить, что степенные зависимости возникают и как сопоставление двух способов измерения одного и того же объекта. Один способ позволяет измерить целое, другой – множество его частей. Другими словами, с одной стороны измеряют (указывают) координату целого на вещественной оси, с другой – используют (применяют) алгоритм измерения, который выражает последовательность действий с отрезками, составляющими целое. Эту общую схему усматривают в аксиоме Архимеда. Впервые она была выделена в конце 19 века математиками Д. Веронезе и Д. Гильбертом. Следует отметить, что при измерении фрактальных множеств также используют её алгоритм. При этом в выражение для аксиомы Архимеда вводят фрактальную размерность, и аксиома приобретает вид степенного закона [3].

Степенное распределение ценозов и восприятий позволяет построить их числовую модель. Она может быть получена как на поле вещественных, так и на поле *p*-адических чисел. Эта модель включает вещественную и *p*-адические части [3],[10].

p-Адические числа введены в научный обиход в конце 19 века немецким математиком-алгебраистом К. Гензелем. Он обнаружил, что если дроби, то есть рациональные числа, выражать через степени простого числа, то получают особый мир чисел. *p*-Адические числа записывают в виде бесконечного ряда по степеням (по позициям) любого простого числа *p*, или в виде слова, «буквами» которого являются коэффициенты указанного ряда. Необычность *p*-адической конструкции заключается в том, что абстрактную математическую идею непрерывности, можно выводить последовательно и непротиворечиво на основе модели, которая значительно отличается от привычных действительных чисел. Если действительные числа можно упорядочено расположить на числовой оси, а всякий отрезок на числовой оси можно последовательно делить на меньшие отрезки, имеющие общую границу, то *p*- адические числа нельзя упорядочить, а потому – и сравнивать. Однако числовое поле *p*-адических чисел также делимо и непрерывно. Инвариантом любого деления является граница. Поэтому мир *p*-адических чисел – это мир границ, а потому он нульмерен [11], [12]. Дальнейшими исследованиями было установлено, что эти числа получают пополнением поля рациональных чисел пределами фундаментальных последовательностей. Пополнение осуществляют путем нормирования. Норма есть отображение числового поля на множество неотрицательных вещественных чисел. На поле *p*-адических чисел существует специальная норма. Она отличается от обычной (евклидовой) нормы тем, что отвечает условию не обычного, а «усиленного» треугольника. Суть этого условия, удобнее всего пояснить на языке метрик. Оно заключается в том, что любая сторона «усиленного» треугольника не превышает любую из двух оставшихся сторон. Традиционная интуиция здесь не работает. Все треугольники геометрии с такой метрикой либо равнобедренные, либо равносторонние. Причем, если треугольник равнобедренный, то его основание меньше стороны. «Усиленная» норма обратно пропорциональна степени делимости данного числа на фиксированное простое число. Тогда умножение на простое число есть сжатие. Наряду с p-адической моделью рационального числа существуют его вещественная модель, полученная пополнением рационального ряда обычной (евклидовой) метрикой. Образом p-адического числа является раскидистое дерево, которое вырастает из вещественного числа. Для любого вещественного числа по определенным правилам можно найти соответствующую величину на древовидной структуре. Произведение обычной (евклидовой) нормы какого - либо числа на p-адическую норму этого числа есть константа. Эта операция на множестве норм позволяет сформулировать понятия бинарности и дополнительности, поскольку в произведении две нормы (бинарность) и значение одной нормы обратно пропорционально другой (дополнительность). Из дополнительности следует, что произведение этих норм имплицитно содержит гиперболу. С другой стороны гиперболическое распределение получают инверсией последовательного ряда номеров для уровней ветвления p-адического дерева. На различных уровнях ветвления находится различное количество точек ветвления [3],[11],[12].

«Усиленная аксиома треугольника» индуцирует ультраметрику, лежащую в основе неархимедовой геометрии. Как отмечено выше, треугольники неархимедовой геометрии либо равнобедренные, либо равносторонние. В ультраметрическом пространстве выделяют особое множество, которое называют шаром. Эти шары обладают, свойствами которые трудно, согласовать с традиционной интуицией. Здесь уместно вспомнить о характеристике, данной Б. Паскалем для некоторой сферы, центр которой расположен везде, а радиус – нигде. В нашем случае имеют нечто подобное. В ультраметрическом пространстве каждая точка шара является его центром. Если два шара имеют общую точку, то один содержится в другом. Шары, не имеющие общих точек, не пересекаются. Диаметр шара не превосходит его радиуса. Шары являются одновременно и открытыми (при взгляде изнутри) и замкнутыми (при взгляде снаружи). Эти свойства позволяют утверждать, что ультраметрическое пространство обладает естественной иерархией. Неархимедовость ультраметрического пространства означает, что на нём не выполняется аксиома Архимеда. Другими словами, в этом пространстве существуют расстояния, которые нельзя измерить при помощи других расстояний. И хотя практическое значение этого смысла неархимедовости минимально, неархимедов анализ имеет большое значение. Приложения его имеют место в тех отраслях знаний и практики, которые адекватно могут быть описаны p-адическими числами. Такой вид математических моделей получил распространение в квантовой физике, биологии и теории мышления. Сюда же относят структуры и процессы гранулированных множеств, фракталов и мультифракталов [3],[10],[12]. Поскольку модели на основе p-адики безгранично делимы, то они находят и статистическое оформление [14].

Теорема Островского из теории чисел даёт удивительный математический результат [11], [12]. Из неё следует, что существуют, только вещественные и p-адические метрики и модели числовых полей. Других метрик и моделей нет. Поэтому следует считать, что только рациональные числа являются числами физическими, поскольку только они в полной мере приспособлены к процедуре физических измерений. Модели на основе вещественных чисел преимущественно описывают материальный мир, p-адические числа тесно связаны не только с такими физическими теориями как гравитация, космология, теория струн, но и с ментальным миром мышления и сознания.

Следует заметить, что вещественная и p-адическая части общей модели имеют не только разные виды нотаций, но и используют разные виды операций-действий. Вещественная часть модели допускает аддитивные операции, а p-адическая – мультипликативные. Первая часть преимущественно оперирует с экстенсивными величинами, а вторая – с интенсивными. Бесконечность в первой части модели потенциальна, во второй части – актуальна [3].

Можно показать, что мультипликативная и аддитивная операции с евклидовой и *2*-адической (диадической) нормами числа 2 позволяют получить известный принцип 80/20. Принцип и его применение довольно полно описан в книге [15].

Результаты моделирования на основе вещественных и *p*-адических чисел можно интерпретировать в терминах ценоза и восприятия.

Ценоз представляет собой объект, который следует рассматривать в двух слоях. Один слой соответствует вещественным, а другой – *p*-адическим числам. Один уровень представления ценоза – материальный или энергетический, а другой – информационный, нульмерный. Образом нульмерного (невидимого) пространства ценоза является иерархическое дерево. Инверсия уровней деления этого дерева представляет собой ряд, аппроксимация которого имеет гиперболическое *H*-распределение (степенное распределение). Его получают в частотной или ранговой форме. Таким образом, иерархическое дерево является своеобразной программой ценоза, степное распределение есть его вторичный образ. Основные свойства, приписываемые ценозу: целостность, трудность установление границы, самоподобие элементов, гиперболическое *H*-распределение (степенное распределение), слабые связи между элементами, подчинение статистики негауссовым распределениям, эволюция и другие, легко могут быть объяснены *p*-адичностью модели и её иерархическим образом. Целостность ценоза и трудность установления его границ могут быть объяснены единой иерархией дерева и тем, что толщина и количество его крайних веточек зависит от того, в какой момент будет зафиксирован (остановлен) процесс деления. Самоподобие элементов и вид их распределения скейлинг – масштабная инвариантность, зависит от итерационного алгоритма процесса деления и вложенности уровней ветвления иерархического дерева друг в друга. Величина «слабости» связей между элементами не может быть измерена физическими методами, поскольку связи являются связями нульмерной иерархической структуры. Подчинение статистики устойчивым негауссовым распределениям обусловлено безграничным процессом деления иерархического дерева. Очевидно, что статистика на отдельных ветках иерархического дерева является гауссовой. Эволюция ценоза представляет собой развёртывание реального дивергентного процесса, образом которого как раз и является иерархическое дерево. Такой же геометрический образ имеет энтропия, отвечающая за естественное рассеивание (деление) энергии. Поверхность, на которой развертывается эволюция и энтропия, в пределе является гиперболической.

Уместно заметить, что для моделирования ценоза Б.И. Кудриным была предложена эйлерова форма записи натуральных чисел через степени простых чисел [1]. Геометрическим образом этой модели ценоза является сложное иерархическое дерево с различными простыми числами, соответствующими различным точкам и уровням его ветвления.

Пространство ценоза является гиперболическим, поскольку иерархическое дерево, как и гиперболоид, асимптотически «сходится» к конусу, сечениями которого произведенными параллельно ортогональным осям являются гиперболы и окружности [16].

Поскольку фрактал является масштабно-инвариантной, итерационно организованной структурой, то в большинстве приведенных выше случаев *p*-адичность имеет смысл фрактальности. При этом замена одного термина на другой практически ничего не меняет.

Восприятие формирует чувственный образ предмета на основе ощущений по структуре иерархического дерева. Крона дерева оцифровывает воспринимаемый предмет, иерархическая структура создает его чувственный образ. В этой схеме событие на границе тела, связано инволюцией (двукратной инверсией) с нульмерным образом контакта (пятна внимания). Восприятие зависит от разрешающей способности органов зрения, слуха, осязания, обоняния, тактильных и мышечных органов перцепции. Акт восприятия инволютивно связывает внешний и внутренний мир человека. Иерархическая сеть сопрягает материальный мир и мир ментальных нульмерных образов. При этом можно говорить о дивергентно - конвергентных процессах восприятия. Свернутой записью иерархии является степенное распределение. Она связывает стимул и реакцию восприятия. Если иерархию восприятия моделируют *p*-адическими числами, то степенное распределение является результатом синтеза архимедовых и неархимедовых модулей (норм), получаемых через декомпозицию уровней древовидной структуры. При этом архимедов модуль соответствует целой части числа, а неархимедов – соответствует величине его бесконечно делимой части [3].

Поводом для совместного рассмотрения ценоза и восприятия является их степенное распределение. Результатом работы является двуслойная числовая модель и интерпретация результатов её исследования. Модель объединяет вещественную и *p*-адическую части. Наглядным образом модели является иерархическое дерево. Степенное распределение есть его числовой образ. Интерпретация результатов, полученных при помощи модели, показывает, что и ценоз, и восприятие содержит физическую и ментальную (нульмерную) части. Образом их единства является степенное распределение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин, Б. И. Семнадцать лекций по общей и прикладной ценологии: монография/ Б. И. Кудрин: 3-е изд. – М.: Технетика, 2014. – 218с.
2. Восприятие. Механизмы и модели.– М.: Мир, 1974. – 368с.
3. Маврикиди, Ф.И. Числовая асимметрия в прикладной математике. Фракталы, *p*-адические числа, апории Зенона, сложные системы/ Ф.И. Маврикиди.–М.: Дельфис. 2015. – 416с.
4. Кудрин, Б. И.. Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические Н-распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта / Б. И. Кудрин. В кн.: Философские основания технетики. Вып.19. "Ценологические исследования". – М.: Центр системных исследований, 2002. – С. 357 – 412
5. Блюменфельд, Л.А. Решаемые и нерешаемые проблемы биологической физики/ Л.А.Блюменфельд: Изд. стереотип. – М.: Едиторал УРСС, 2014. – 160с.

6. Чайковский, Ю.В. О природе случайности. Монография/ Ю.В.Чайковский Вып.18. «Ценологические исследования» – М.: Центр системных исследований – Институт истории естествознания и техники РАН, 2001. – 280с.
7. Шредер, М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая/ М. Шредер.– Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. – 528с.
8. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы/ Б. Мандельброт.– Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004. – 656с.
9. Порфирий. Жизнь Пифагора. Жизнь Плотина./ Порфирий. Пер. М.Л. Гаспарова.//Диоген Лаэртский. О жизни, учениях и изречениях знаменитых философов. – М.: Мысль, 1979. – 580с.
10. Хренников, А.Ю. Неархимедов анализ и его приложения/ А.Ю. Хренников.– М.; Физматлит, 2003. – 216
11. Хренников, А.Ю. Моделирование процессов мышления в *p*-адических системах координат/ А.Ю. Хренников. – М.; Физматлит, 2003. – 296с.
12. Коблиц, Н. *P*-адические числа, *p*-адический анализ и дзета-функции/ Коблиц Н. Пер.с англ. В.В. Шокурова/ Под ред. и с предисловием Ю.И. Манина. – М.; Мир, 1981. – 192с.
13. Золотарев, В.М. Одномерные устойчивые распределения/ В.М. Золотарев. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 153с
14. Золотарев, В.М. Устойчивые законы и их применения/ В.М. Золотарев. – М.: Знание, 1984. – 64с.
15. Кох, Р. Принцип 80/20/ Р. Кох. Пер.с англ. Д.И. Кашкан.– 2-е изд. –Мн.: ООО Попурри, 2004. – 192с.
16. Хорьков, С. А. Техноценологические модели, методики и расчёты электропотребления промышленного предприятия/ С. А. Хорьков.– Ижевск: КнигоГрад. – 2011. – 108с.
17. Шрейдер, Ю.А. Системы и модели/ А.А. Шаров. – М.; Радио и связь, 1982. – 152с.
18. Мамфорд, Д., Ожерелье Индры. Видение Феликса Клейна/ Д.Райт, К. Сирис Пер. с англ. под ред. О.В. Шварцмана. – М.: Изд-во МЦНМО, 2011. – 443с
19. Хорьков,С.А. Степенное распределение ценоза и восприятия / С. А. Хорьков // Промышленная энергетика. - 2019. - № 9. - С. 56-61.

4. ПРИЧИННОСТЬ ЦЕНОЗОВ И СИСТЕМ*

Аннотация. Отмечено, что ценозы (техноценозы) и естественные системы являются вариантами воплощения общей теории сложных систем; что развитие формальной теории систем возможно осуществлять на базе фрактально-хаотических представлений; что фракталы являются двойственными объектами и появились на стыке физики и теоретической информатики; что методологической основой анализа причинных связей является положение о самодвижении материи, а значит и о самоорганизации ценозов и естественных систем. Показано, что материально-символьная двойственность может быть представлена в пространстве числовой асимметрии (двойственность вещественных и *p*-адических чисел); что четыре причины (моторная, материально-символьня, символьно-символьная, символьно-материальная) причинно-рефлексивного круга можно представить как функции между подпространствами числовой асимметрии. Здесь можно усмотреть новую структуру числового моделирования как двух систем уравнений для внешней и внутренней сред ценоза и естественные системы.

Ключевые слова: система, ценоз, математическое моделирование, числовая асимметрия, фрактальная геометрия, *p*-адические числа,

Техноценозы и естественные системы являются вариантами воплощения общей теории сложных систем. Их познанию и моделированию была посвящена вторая половина XX века. И сегодня с развитием информационных и сетевых технологий это направление получило беспрецедентную техническую базу, завоевывая все новые научные области и природные пространства.

Сейчас мы находимся в уникальном моменте, когда из материи (физики, механики) начинает развиваться символическая реальность (язык-информатика, ИИ), демонстрируя их неразрывную связь. Это явление было замечено в 90-х годах как тенденция к дематериализации, т.е. *нульмеризации* – сегодня *цифровизации*, науки. Цифровизация в естественнонаучном плане

---

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. Причинность ценозов и систем [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков, Ф. И. Маврикиди // Федоровские чтения – 2023 : LIII Всерос. науч.-практич. конф. с междунар. участием (с элементами науч. шк. для молодежи) (Москва, 15–17 нояб. 2023 г.) / М-во науки и высш. образования РФ, Нац. исследоват. ун-т "МЭИ". - Москва : Издательство МЭИ, 2023. - С. 442-450.

есть переход во фрактальную Вселенную – компьютер есть усеченное пространство фракталов. Именно поэтому, в силу универсальности фрактальной топологии материи, мышления и природы стал возможен этот технологический скачок. Но кроме технологии, этот скачок несет в себе новые теоретические возможности, которые скрыты за видимым прогрессом. Они заключаются в возможности развития формальной теории систем на базе фрактально-хаотических представлений.

Как отмечалось ранее [1], наука о сложных системах не вышла за рамки физических представлений и не смогла отобразить присущей системам двойственности. Её суть в том, что сложная система должна иметь как символическую – управляющую, часть, так и материальную – управляемую. Символическая часть обеспечивать возможность развития, качественной, событийной трансформации структуры и состава системы. Материальная часть обеспечивает инертное, качественно-однородное движение. В таком виде техногенные системы оказываются в потоке современных тенденций. Но встал вопрос, на который ранее обращали внимание биологи и философы. В таком виде движение системных объектов отличается от движения физических и причинность здесь более разнообразна. Например, существует так называемая загадка человеческого движения, которую каждый может обнаружить самонаблюдением – что движет нами, органами, эмоциями? Как наши мысли, решения, желания преобразуются в физическую активность?

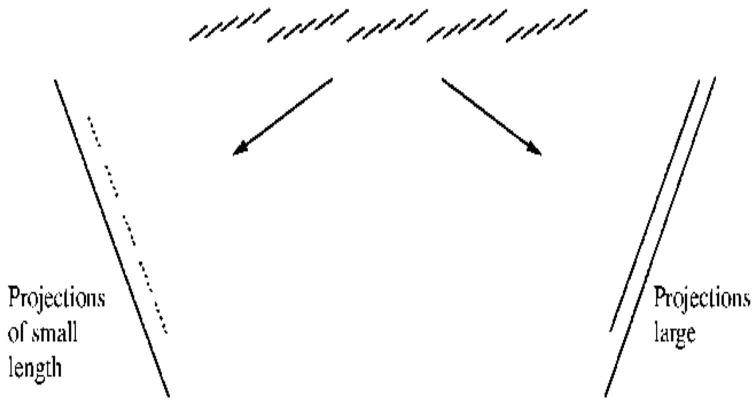


Рис. 1. Материально-символьная природа фракталов. Слева – нульмерная проекция, символы, Справа – сплошная проекция, материя. (K. Falconer Fractal Geometry of Nature. Mathematical Foundations and Application. Wiley, 2003, P.96, Fig. 6.3)

До недавних пор символическая природа систем и ценозов оставалось недоступной формализации. Однако с развитием теории фракталов положение изменилось. Фракталы являются двойственными материально-символьными объектами и появились на стыке физики и теоретической информатики (Рис.1).

Эта двойственность – связь материи и символа исследована Г.Патти [2]. Его вывод, который согласуется с математикой фракталов – символ есть вырожденная материи. Он возникает в пределе делимости/вырождения материи, когда от неё остается нульмерное пространство *фрактальных границ* тел. Это ясно видно на примере итеративной системы функций – основного и наиболее естественного способа генерации фрактальных образов (Рис.2).

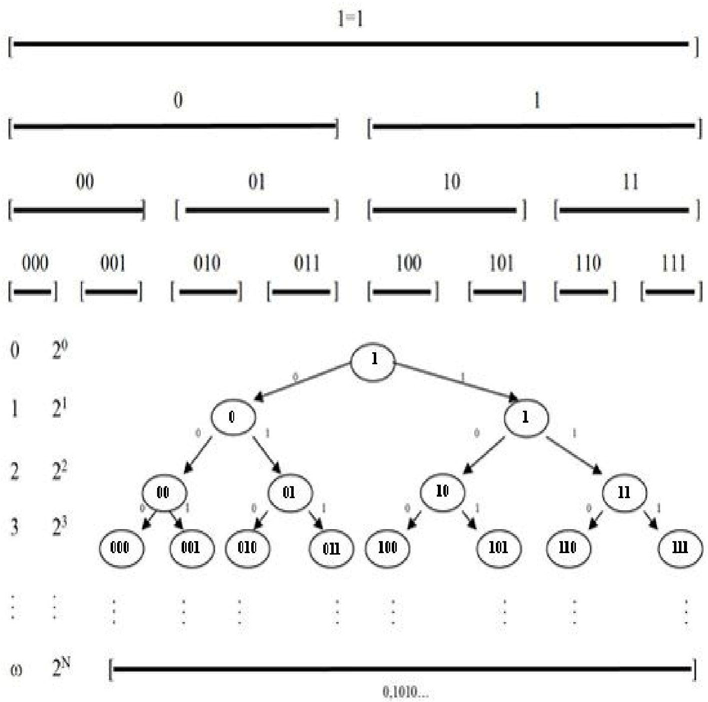


Рис. 2. Итеративная система функций как дерево бесконечной делимости материи и образования символических объектов. Отрезки – материальные фрагменты, кружки в ветвях – образование строк символов.

Авторами была предпринята попытка описания математики ценозов и систем на базе фрактальных представлений [3], которая логически привела к необходимости полного анализа причинности их динамики. Данная работа посвящена представлению в своей основной части формализации причинных связей объектов двойной природы таких как ценоз, представляющий систему (целое), воплощающий в себе материальный, энергетический и/или информационный ресурс, иерархическая многоуровневая структура которого состоит из самоподобных (символических) элементов.

Методологической основой анализа причинных связей является положение о самодвижении материи [4], а значит и о самоорганизации ценозов и естественных систем. При этом конечное взаимодействие конечных вещей имеет своей основой вечное взаимодействие отдельных частей материальной субстанции. Одновременно взаимодействие тел и явлений природы представляет собой сложное переплетение различного вида взаимодействий элементов как одного структурного уровня, так и элементов разных структурных уровней.

Динамика ценозов как системных объектов должна охватывать не только техническую часть, но и учитывать взаимодействие системы с внешней средой, предвидеть и диагностировать отдаленные последствия реакции природной среды, ведущие, зачастую к возникновению нештатных ситуаций, явлений технически обоснованных, но неприемлемых с социальной, политической и экологической точки зрения. Для того, чтобы эти разноприродные явления наравне с мышлением лица принимающего решение (ЛПР) можно было включить в единый формализм, должен быть выработан единый язык. Один из вариантов – естественный язык, является слишком лабильным и неоднозначным, зависимым от психики ЛПР, но позволяет увидеть аналогии. Если бы удалось включить в наведение мостов его второй полюс – число, то лабильность языка, неустойчивость планов содержания понятий была бы дополнена их ригидностью, устойчивостью. Тогда аналогии приобрели бы терминологический характер и, обретя, таким образом, *асимметричный дуализм своего знака*, могли составить основу *языка* системного взгляда. Такой язык мог бы послужить кандидатом на роль *нейтрального языка* Юнга–Паули – общего языка внешнего и внутреннего миров человека [5]. Тем самым техногенные и естественные системы органично включались бы в мышление ЛПР, что позволило бы формализовать их взаимодействие. В этом случае технический язык ЛПР не был бы ограничен физикой «видел» бы адекватную картину эффектов и последствий своих действий.

Такой язык оказывается возможным на основе фрактальных представлений о двойственности и их теоретико-числовой модели в виде объединения U_S вещественных R и 2-адических (компьютерных) чисел Z_2, названной числовой асимметрией, которая играет роль пространства системных объектов.

$$U_S = R \times Z_2 \tag{1}$$

Более широко язык рассматривают как самостоятельную, отличную от физики, действующую среду, в которой антиномично сопряжены вещность и деятельность. [6,7] В дальнейшем, указанную антиномию расчленяют на частные антиномии: объективности и субъективности слова, речи и понимания, свободы и необходимости, индивудуума и народа [6].

Можно показать, основываясь на психофизиологии восприятия человека, что числовая асимметрия тождественна пространству восприятия, первой *1сс* и второй *2сс* сигнальной системы (2).

$$U_H = 1cc \times 2cc \cong U_S \tag{2}$$

Первая сигнальная система реагирует на воздействия, оказываемые на все органы чувств, ориентирует человека в физическом материальном мире и направлена на техническое управление материальными объектами. Вторая сигнальная система реагирует на слова, тексты, теории и, потому, имеет символический характер, способна к автореферентности, самоописанию. Это свойство открывает возможность трансформации техногенной системы в более широком спектре движений, нежели диктуемых физикой.

Отсюда становится понятным, что спектр движений ценоза-системы значительно шире, нежели его как физического объекта. Разница между этими множествами заключается в возможности существования символических и семантических энергий-движений, которые исходят из второй сигнальной системы и пространства 2-адических чисел Z_2. То, что этот вопрос не сводится к физике ясно уже из того, что техногенные системы как и живые организмы способны самостоятельно генерировать движение, т.е. они несут в себе его источник.

Движения-причины. Рассмотрим вопрос о движениях в пространстве числовой асимметрии как объективной реальности. В пространстве числовой асимметрии отсутствуют, и не будут вводиться какие-либо координатные системы физики. Все, что можно здесь сделать, это рассмотреть относительные движения точек (3).

$$u = x \cdot \xi \text{ и } v = y \cdot \eta,\ x, y \in R,\ \xi, \eta \in Z_2\ .\ u \in U_S \cong U_H \tag{3}$$

Имеем четыре производные, определяющие базисные движения (4),(5):

$$E = \frac{du}{dv} = (e_1 = \frac{|du|_\infty}{|dv|_\infty},\ e_2 = \frac{|du|_\infty}{|dv|_2},\ e_3 = \frac{|du|_2}{|dv|_\infty},\ e_4 = \frac{|du|_2}{|dv|_2}) \tag{4}$$

$$|du|_\infty = |dx|_\infty \cdot \xi \qquad |du|_2 = x \cdot |d\xi|_2 \tag{5}$$

$$|dv|_\infty = |dy|_\infty \cdot \eta \qquad |dv|_2 = y \cdot |d\eta|_2$$

Здесь знаки $|\ |_\infty$ и $|\ |_2$ обозначают метрику и ультраметрику, соответственно. Тогда, с учетом существования обратных элементов, $\exists z = x^{-1}, \exists \varsigma = \xi^{-1}$, получим (6):

$$e_1 = \frac{|dx|_\infty}{|dy|_\infty} \cdot \frac{\xi}{\eta},\ e_2 = \frac{|dx|_\infty}{|d\eta|_2} \cdot \frac{\xi}{y},\ e_3 = \frac{|d\xi|_2}{|dy|_\infty} \cdot \frac{x}{\eta},\ e_4 = \frac{|d\xi|_2}{|d\eta|_2} \cdot \frac{x}{y} \tag{6}$$

Связь движений обнаруживается, если взять произведение их выражений, с учетом гиперболического соотношения для метрик в общей формуле числа (7)

$$\|u\| = |x|_\infty \cdot |\xi|_2 \text{ и } \|v\| = |y|_\infty \cdot |\eta|_2, \text{ и, поэтому, } |\bullet|_\infty \cong \frac{\|\bullet\|}{|\bullet|_2} \tag{7}$$

Перемножив базисные движения, с учетом обратимости элементов, получим (8):

$$e_1 \cdot e_2 \cdot e_3 \cdot e_4 = \frac{c_x^2}{c_v^2} \cdot (x \cdot y^{-1})^2 \cdot (\xi \cdot \eta^{-1})^2 = c_u \cdot (e_1 \cdot e_2 \cdot e_3 \cdot e_4) \cdot L \cdot \Lambda \neq 0, \tag{8}$$

здесь $L \in R$ и $\Lambda \in Z_2$, поэтому, в силу произвольности выбранных точек u и v общее выражение для числовой асимметрии с учетом причинности-энергетики перепишется в виде (9):

$$U_S = U_H = (e_1 \cdot e_2 \cdot e_3 \cdot e_4) \cdot L \cdot \Lambda, \tag{9}$$

Причинно-рефлексивный круг. Четыре причины можно рассмотреть как функции между подпространствами числовой асимметрии. Получим рефлексивный круг как круговорот причин (10).

$$\begin{array}{ccc} Z_2 & \xrightarrow{e_4} & Z_2 \\ e_3 \uparrow & & \downarrow e_2 \\ R & \xleftarrow{e_1} & R \end{array} \tag{10}$$

Рассмотрим эти четыре причины с точки зрения топологии. Все они действуют в *поле* объективной реальности, как во внутреннем, так и во внешнем мирах.

e_1: $\boldsymbol{R} \rightarrow \boldsymbol{R}$ – моторное действие, движение в физическом пространстве. Действует в физическом мире.

e_2: $\boldsymbol{Z_2} \rightarrow \boldsymbol{R}$ – преобразование символической реакции в физическое действие. Материализация, конвергирующее действие/причина. Возникновение/порождение нового. Эмерджентность в теории систем.

e_3: $\boldsymbol{R} \rightarrow \boldsymbol{Z_2}$ – действие внешнего материального, физического стимула на символическое пространство системы.

e_4: $\boldsymbol{Z_2} \rightarrow \boldsymbol{Z_2}$ – внутрисистемные преобразования, перестройка организации, структуры. Принятие решений.

Из определения видно, что пары движений-энергий связаны отрицанием/инволюцией (11).

$$e_1 = inv\, e_4\,,\ e_2 = inv\, e_3 \tag{11}$$

В соответствии с рефлексивными свойствами пространства (12).

$$U_S \cong U_H = (R \times Z_2) \times (R \times Z_2) \times \ldots \times (R \times Z_2) = (R \times Z_2)^n \tag{12}$$

рефлексивный круг *многомодален многопредметен.* В каждой модальности действуют своя четверка движений-энергий. Все они оказываются взаимосвязанными как части и целое. В моделях ценозов модальностями можно считать интерпретации моделей [8]. Все модели двойственны, все имеют меры и метрики, что позволяет в потенции количественно оценивать их ресурсы и структуры. Пространство моделей гиперболическое. Ресурсы простейших моделей связаны на гиперболическом пространстве законом масштабирования. Эту связь можно представить и как тензорное произведение топологических пространств. Насколько известно авторам, такая техника еще не достаточно развита и не доведена до расчетных формул [9,10]. С точки зрения считающей парадигмы точных наук здесь наличествует принципиальная трудность – взаимная неопределимость метрик двух числовых систем. Поэтому определима только e_1, частично определимы e_2 и e_3, и полностью неопределима e_4. Поэтому, пока здесь напрашивается не прогноз, но диагноз. Не причинно-следственная картина, но анализ симптомов, узких мест, слабых звеньев и т.п.

Причинно-рефлексивный круг в естествознании известен как круговорот материи, состоящий из многочисленных разноприродных циклов, действующих на всех масштабах [4]. Здесь можно усмотреть новую структуру числового моделирования как двух систем уравнений для внешней и внутренней сред ценоза. Их сопряжение можно провести по, например, энергии e_1. Здесь внешнее пространство ***R*** должно будет включено в такой же причинно-рефлексивнй круг окружающей среды.

В теории систем поиск материальной причины *эмерджентности – появления новых качеств,* теряется в «нульмерном» тумане. По-видимому, причинно-рефлексивный круг может служить кандидатом на объяснение этого феномена.

Эти интересные и важные вопросы требуют отдельной большой работы и здесь не рассматриваются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шрейдер, Ю.А. Сложные системы и космологические принципы. В кн.: Герасимова И.А. Противоположности и парадоксы. –М.: Канон+, 2008. – С.287-318
2. Pattee, H. Evolving Self-reference: Matter, Symbols, and Semantic Closure// Communication and Cognition—Artificial Intelligence , 12(1–2), 9–28, 1995.
3. Хорьков, С.А. Ценозы, системы и их модели./ С.А.Хорьков, Ф.И.Маврикиди. – Ижевск: Изд.центр. Удм.ун-та, 2021. – 92 с.
4. Лойфман, И.Я. Единство природы и круговорот материи/И.Я. Лойфман, В.П. Стадник – Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1988. –204с.
5. Gieser, S. Jung, Pauli and Symbolic Nature of Reality. In Atmanspacher H., Fuchs C. (eds.) The Pauli – Jung Conjecture and Its Impact Today. Imprint Academic, 2014, P.151-180
6. Флоренский, П.А. У водоразделов мысли (Черты конкретной метафизики). Том 3(1), с.144-145
7. Pike K. Language as particle, wave and Field// The Texas Quarterly *2:2* (1959), 37-54.].
8. Хорьков, С.А. Проблема расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, модели и методики её решения. Ижевск, Изд-во ИжГТУ, 2019,124 с.
9. Ryan, R.A. Introduction to tensor Product of Banach Spaces. Springer, 2002
10. Петров, А.Е. Тензорный метод двойственных сетей/А.Е. Петров. М.: ООО «Центр информационных технологий в природопользовании», 2007,496 с.

10\. Хорьков, С. А. Причинность ценозов и систем [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков, Ф. И. Маврикиди // Федоровские чтения – 2023 : LIII Всерос. науч.-практич. конф. с междунар. участием (с элементами науч. шк. для молодежи) (Москва, 15–17 нояб. 2023 г.) / М-во науки и высш. образования РФ, Нац. исследоват. ун-т "МЭИ". - Москва : Издательство МЭИ, 2023. - С. 442-450.

5. ЦЕЛОСТНОСТЬ ТЕХНОЦЕНОЗОВ*

Аннотация. Отмечено, что исследование техноценозов, как особого вида систем, включает структурные, целостные и эволюционные аспекты. Поскольку целостность связана с появлением в системе (техноценозе) новых свойств, отсутствующих у составляющих её элементов, то трудность в исследовании целостности в виде проблем формализации связи целого и части, внутренней и внешней динамики, детерминизма и случайности, устойчивости и изменчивости требует разработки новых подходов. Показано, что существует возможность построения формальной теории целостности больших технических систем – техноценозов. Как показал опыт, эта теория вполне укладывается в общесистемные идеи, развитые авторами на основе теории фракталов в её представлении числовой асимметрией. В этом случае получают своё выражение основные факты общей теории систем – синтез материи и языка, эмерджентность, материальный эквивалент функции и др. Как представляется, развиваемая теория не отрывается от накопленного опыта кибернетики и системного анализа, представленного различными методами принятия решений, теории организаций, делового администрирования, практики планирования. Все они появляются в качестве составляющих причинно-рефлекторного цикла. Представлены основные соотношения позволяющие интегрировать их в единую «теоретическую бухгалтерию», которая допускает естественное цифровое представление. Модель, однако, требует адекватного «теоретического воплощения» наблюдателя.

Ключевые слова: техноценоз, система, целостность, математическое моделирование, числовая асимметрия.

Техноценозы – большие технические, эколого-экономические системы (объекты) с точки зрения практики являются одними из наиболее значимых для науки. С ними связаны разнообразные риски, экономическая, социальная и экологическая ответственности. Они несут большую материальную, ресурсную и финансовую нагрузки. Поэтому разработка надежных научных основ их познания, проектирования, управления, экспертного сопровождения

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. Целостность техноценозов [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков, Ф. И. Маврикиди // Федоровские чтения – 2023 : LIV Всерос. науч.-практич. конф. с междунар. участием (с элементами науч. шк. для молодежи) (Москва, 13–15 нояб. 2024 г.) / М-во науки и высш. образования РФ, Нац. исследоват. ун-т "МЭИ". - Москва : Издательство МЭИ, 2024. - С. 442-450.

принятия решений, создания технологий и экологического мониторинга является актуальной задачей.

Исследование техноценозов, как особого вида систем, включает структурные, целостные и эволюционные аспекты. Структурные и эволюционные аспекты систем и техноценозов традиционно привлекают большое внимание исследователей и мы не будем здесь касаться этих вопросов. Поскольку целостность связана с появлением в системе (техноценозе) новых свойств, отсутствующих у составляющих её элементов, то трудность в исследовании целостности в виде проблем формализации связи целого и части, внутренней и внешней динамики, детерминизма и случайности, устойчивости и изменчивости требует разработки новых подходов. Она составляет специфику систем во всем их многообразии проблем и связей с внешней средой [1]. Этот спектр вопросов составил содержание проблем, связанных с принятием решений, оптимизацией, прогнозированием развития технических систем. В контексте физико-математической парадигмы целостность имеет отрицательные коннотации – как неопределённость, плохая формализуемость, и, как следствие, неуправляемость и непрогнозируемость. Поэтому феномен целостности был вытеснен за пределы математических методов. Но с точки зрения познания природы технических систем, которая синтезирует как собственно технические, так и биологические начала, целостность является краеугольным камнем познания. Целостность имеет биотехнический характер, сочетая в себе противоположности - целевую причинность биологии и алгоритмическую причинность техники.

Формализация феномена целостности имеет чисто практическое назначение как интегратор разнопредметных свойств инженерной реальности, направленный на обеспечение технико-экономического результата во всей его полноте. Именно целостность, её преобразования и трансформации лежат в основе инженерной деятельности. И с точки зрения практики управления технически обоснованный, аргументированный синтез разнообразных процессов обеспечения технико-экономических целей находится за пределами возможностей человека. Поэтому управление большими системами сильно подвержено так называемому человеческому фактору, чрезвычайно лабильно, лишено каких бы то ни было объективных биотехнических критериев. Это соображение определяет специфику интегративной математики – необходимость формальной, числовой характеризации предметно - семантически сопряженных разноприродных процессов.

Модель целостности есть модель предмета науки о больших технических системах. Она часто рассматривается как центральная тема системной теории [2]. Развитая в конце прошлого века теория фракталов создала новую перспективу моделирования систем. Она позволила увидеть контуры интегративной, синтетической математики, т.е. той научной дисциплины, которая позволила бы объединить многочисленные частично адекватные описания, построенные в кибернетике и топологии. Как показал опыт, эта идея хорошо обеспечена математическими инструментами, развитыми с конца позапрошлого века и образующими логически связную математическую мысль.

Целью настоящей работы является очерк формальных основ феномена целостности и её предмета в новой числовой модели фракталов, которую авторы разрабатывают в течение ряда лет [3].

Целостность есть теоретическая суть проблемы Платона «Единое – Многое», как проблема формализации взаимосвязи Целого и Части, доставшаяся в наследство от кибернетики. Логикой этой теории является парадокс Лжеца – двойная семантика истинности. В теории систем он известен как парадокс иерархичности [4]. Эта проблема лежит в основе общесистемной двойственности и диалектики системной идеи.

С целостностью связаны такие явления как эмерджентность – целое больше суммы своих частей. Это новое свойство целостного образования, отличное от частных свойств частей/подсистем. Оно появляется вместе с образованием структуры/организации, внутренней геометрии объекта. Эмерджентность часто называют химией систем. Она есть упускаемый фактор математического моделирования.

Классикой являются следующие примеры. Части и детали самолета не летают, но собранные нужным образом, поднимают тяжелую машину в воздух. Газообразные водород и кислород образуют воду, свойства которой полностью отличны от них. Из биохимии человека не выводятся свойства психики и мышления.

Синонимом целостности выступает также цикл. Это можно объяснить тем, что цикл инвариантен своим частям. Пока цикл не разомкнется, его части будут выполнять свое назначение внутри него. При размыкании цикла его составляющие теряют свое функциональное назначение. Кроме того, цикл представляет собой не одноразовое явление, а возобновляющийся и бесконечно повторяющийся процесс. Следует также считать, что цикл, в некоторых случаях, представляет собой не только целостность в полном её развитии, а её начальную клеточку, которая становится циклом по истечении определенного периода времени.

Истоки исследования циклов, а, следовательно, и целостности можно отыскать в истоках топологии. Для выяснения топологических характеристик многообразия Пуанкаре предложил разбить его на простые составляющие и получить клеточное разбиение многообразия. Клеточный комплекс включает клетки разных размерностей: 0-мерные узлы, 1-мерные ветви, 2-мерные фрагменты поверхностей, 3-мерные объемы. Ветви ограничены узлами, поверхности – ветвями, объемы – гранями (поверхностями). Отсюда видно, что клетки меньшей размерности являются границами клеток с большей размерностью. Клетки, имеющие один уровень размерности, могут быть объединены в цепи. Замкнутые цепи – это циклы. Совокупность циклов представляет собой подгруппу группы цепей [5].

Примером конкретного цикла является круговорот воды в природе. Вода в реке течет от истока к устью и впадает в большой водоем (море). Испарение воды из водоема вызывает дождь, подпитывающий реку. Этот цикл многократно повторяется. В техноценозе имеет место несколько различных циклов, например круговороты материи, энергии, информации. или их различные сочетания.

Существуют циклы, которые «замыкаются» в бесконечности. Примерами таких циклов являются процессы с «бесконечным» процессом деления, как в р-адических числах или построение круговых диаграмм асинхронной электрической машины, в которой скольжение для двигательных и тормозных режимов машины замыкается в бесконечности.

Пуанкаре также показал, что если в замкнутом многообразии размерности n имеет место цикл размерности r, то коцикл имеет размерность n-r.

Двойственность образования «цикл-коцикл» можно показать при помощи замкнутой электрической цепи. Потоки (токи) текут по ветвям, имеющим размерность 1, ограниченными узлами с 0-ой размерностью. В замкнутой электрической цепи узлы балансируют токи. Сумма токов любого узла по первому закону Кирхгофа равна нулю. Эти процессы описывают в терминах цикла. Разность потенциалов двух узлов 0-ой размерности (напряжение) вызывает ток в ветви 1-ой размерности. Сумма напряжений в замкнутой цепи по второму закону Кирхгофа равна нулю. Эти процессы описывают в терминах коцикла. Таким образом, потоки (токи) в узлах замкнутой цепи дифференцируются, а потенциалы в ветвях – интегрируются. И в тоже время анализ электрической цепи требует применения обоих законов Кирхгофа, т.е. описания процессов в замкнутой цепи, по сути дела, выполняют в терминах «цикла-коцикла».

Целостность ограничивает «свободу» проявления свойств подсистем. Отбор свойств происходит в свете обеспечения цели. В технических системах отбор свойств оператора-человека производит должностная инструкция и технологическая дисциплина.

Целое формируется внеположной сущностью – целью, смыслом. Цель и смысл находятся вне системы и определяют её будущее состояние. И в этом смысле будущее уже присутствует в настоящем.

Методы описания систем сложились в две группы – физико-математические и логико-лингвистические. Поэтому в системной реальности неявно присутствует и пространство языка. Однако это пространство никогда не использовалось во всей своей полноте, слова описания употреблялись как локальные термины, без каких-либо коннотаций и вариаций смыслов, как сопровождение логической механики. Тем самым, даже в такой лингво-физической постановке, язык описания оставался в рамках механики языка. Энергетика языка оставалась незадействованной.

Основу преобразования эмпирической теории фракталов в математические методы служит числовая асимметрия – произведение вещественных R и 2-адических Z_2 чисел, принимаемая в качестве пространства систем и их движений. Новизной представлений о целостности являются свойства p-адических (у нас 2-адических Z_2) чисел и перенос формализации из физического пространства в нульмерное, ненаблюдаемое, гиперболическое (фрактальное). Такие системные объекты заведомо существуют. Это психика и язык, которые и создали все теории всех наук. Причем обращение к ним, т.е. погружение систем в это невидимое пространство, позволяет формализовать все свойства феномена целостности, которые оказались недоступны математической физике. В науке роль невидимой реальности играет информация.

Приведем кратко основные, «системные» факты числовой асимметрии [6]:

1. Пространство систем, а также числовое выражение объекта-системы:

$$U = R \times Z_2 \text{ , } R = inv\, Z_2 = \neg Z_2 \text{ , } Z_2 = inv^{-1} R = \sim Z_2 \qquad (1)$$

Вещественные R и 2-адические числа Z_2 в (1) связаны инволюцией - inv. Они геометрически представляются бесконечными бинарными деревьями с противоположными порядками. Вещественные числа R моделируют нарастание, концентрацию материи, 2-адические Z_2 – её делимость, т.е. разложимость/членимость объекта на подсистемы. Инволюция inv и есть обращение порядка. Логически эта связь есть отрицание, и всё пространство есть многообразие вариантов парадокса Лжеца $\models P \wedge \neg P$, где P – утверждение, теория. В частности, парадокс Лжеца описывает связь системы и внешней среды – внутренняя динамика познается через внешнюю, а внешняя среда изменяется динамикой внутренней. Поэтому системы являются открыто-замкнутыми, локально-компактными объектами, т.е. их граница (компактность замкнутость, отдельность) и отделяет их от среды и связывает (открытость, неотделимость) с ней. Поэтому представление объекта V в виде проекции/инволюции $R \supset V = inv\, 2^{-\alpha \cdot k} Z_2$ приводит к его двойному – материально-информационному, представлению

$$R \xleftarrow{\wedge} V \xrightarrow{\vee} Z_2 \tag{2}$$

которое совпадает с полем зрения/наблюдения/«имения ввиду». Это как раз и указывает на то, что граница подвижна и определяется целями. Истинность парадокса Лжеца означает двумерную семантику истинности теорий систем. Иными словами, в пространстве систем истинность моделей состоит из двух противоположных значений.

Можно показать, что пространство систем U, и, соответственно, структура системы U_s, изоморфны пространству восприятия человека U_Ψ, которое определяется первой –1сс, и второй – 2сс, сигнальными системами:

$$U = R \times Z_2 \cong 1cc \times 2cc \equiv U_\Psi \cong U_S \tag{3}$$

Тем самым человек включается в системное пространство и как его часть, подсистема, и как наблюдатель, извне, из внешней среды. «Наблюдатель в системе есть обобщающее название исследователя, проектировщика, конструктора, лица принимающего решения (ЛПР), коллектива ЛПР, и т.п. субъекта изучающего, создающего систему или управляющего ею» [2].

2. В теории систем, с их специфическим видом движения как качественного развития, встает вопрос о формальном представлении изменения числовых и качественных параметров – нарастании/концентрации, исчезновении/рассеянии, Числовые характеристики всегда есть характеристики какого-

то их носителя, геометрического образа – отрезка, площади, объема. В предлагаемом подходе эти явления описываются движением этого образа по числовому дереву 2-адических чисел. Общий вид этой числовой динамики параллелен изменению объекта – его возрастанию как концентрации и убыванию как рассеянию:

$$x = |\,\xi\,|_2^{-\alpha \cdot n} = 2^{-\alpha \cdot n}, \tag{4}$$

где n есть номер иерархического уровня, пропорциональный системному времени. При движении к корню/вершине дерева происходит нарастание числовых характеристик, в обратную сторону – их исчезновение. Таким образом, система сама воспроизводит предельные переходы анализа. Это точка входа в теорию измерений больших систем. Цель её построения в необходимости связи теоретических построений с практическими методами контроля.

3. Новое для теории формализация системного свойства – целое есть синтез своих свойств частей. Каждое свойство/часть/подсистема представляются копиями $s = 2^{-n\alpha} Z_2 \cong Z_2$, т.е.

$$\forall n \in N, \quad Z_2 \cong Z_2 \times Z_2 \times \ldots \times Z_2 = Z_2^n \tag{5}$$

$$U \cong (R \times Z_2) \times (R \times Z_2) \times \ldots \times (R \times Z_2) = (R \times Z_2)^n$$

Эти два соотношения (5) являются аналогом мультифрактального формализма в физике. Мультифрактал в системах есть «топологический раствор» различных свойств. В каждой точке пространства/объекта существуют одновременно все свойства/качества. Они определяют основной метод системной теории – анализ через синтез. Объект познается не через отбрасывание части свойств, не вырезанием из внешней среды, но, наоборот, как их синтез, согласование. Этот формализм имеет прямое соответствие представлением технических систем совокупностью своих (сметных) параметров: размерами, производительностью, энергоемкостью, капиталоемкостью и другими. Здесь неявно присутствует необходимость смыслового сопряжения всех системных сторон/граней, которые представлены сомножителями в правой части. Тогда возникает возможность отображения нисходящей причинности – влияния целого на часть. Она усматривается сменой мест одного из сомножителей в правой части и левой части:

$$Z_2^i = Z_2 \times \prod_{k \neq i} Z_2^k \tag{6}$$

Нисходящая причинность есть биологическая обратная связь, оставшаяся незадействованной, в тени механистической петли обратной связи, которая лежит в основе следящих систем техники и вооружений.

Более детальное представление о пространстве Z2 выглядит следующим образом:

$$Z_2 = Z_2^{\leq} \cup Z_2^0 \cup Z_2^{\infty}, \tag{7}$$

где первый член правой части есть множество *2*-адических строк конечной длины с последующей бесконечной строкой нулей (множество слов, текстов, теорий), второй – множество именованных шаров, кластеров (прообразов объектов), третий множество бесконечных строк, изоморфное исходному пространству, т.е. левой части. Первые два члена (7) представляют собой подпространство, занятое системой. Третий член – её будущее, как внутреннее, так и внешнее. Для нашей модели он представляет пространство развития в широком смысле. В модели развития эти слагаемые будут играть свои роли.

4. В системном пространстве исчезает различие качеств, целого и части, большого и малого, непрерывного и дискретного, устойчивости и движения. Это выражается голограммой (8).

$$H \equiv \{Z_2 \cong \exp(C) \cong [IFS \equiv \{0,1\}^N] \cong [Z_2 \to Z_2] \cong 2^{Z_2} \cong BA\} \tag{8}$$

В (8) слева направо: целое, набор его частей, язык описания, множество непрерывных функций, множество истинности булевой алгебры, булева алгебра. Таким образом, в голограмме связаны причинность, логика, язык, инвариантны относительно движений и механических преобразований. Эта голограмма определяет типы формальных языков или интерпретаций, которые синтезируются в понятие система.

Голограмма является, по сути, вариантами парадокса Лжеца. Например, первый и третий изоморфы $Z_2 \cong \lfloor IFS \equiv \{0,1\}^N \rfloor$ есть выражение двойственности Стоуна – двойная интерпретация материального объекта числом и языком.

Эта оппозиция «материя – символ» является одной из основных в динамике целостных образований, не имеющая аналогов в математической физике. Двойственность Стоуна связана с интерпретациями *p*-адических чисел, сделанных С.Уламом (материальная) и А.Н.Паршиным (информационная, языковая).

Всякий произвольно малый фрагмент голограммы содержит всю голограмму и содержится в ней:

$$2^{-n} H \subset H \subset 2^{-m} H \tag{9}$$

Это же свойство (9) имеет выражение как ригидность пространства – оно неизменно при всех движениях/преобразованиях/автоморфизмах Aut :
$H \cong Aut\ H$, в частности (10)

$$H \cong 2 \times H \cong 2^{-N} \times H \cong \dots \tag{10}$$

5.Число в пространстве числовой асимметрии имеет вид сопряжения детерминизма и случайности, непрерывности и дискретности (11), т.е. является числовым выражением парадоксов Лжеца и Зенона:

$$u = x \cdot \xi, \quad x \in R, \xi \in Z_2 \tag{11}$$

Величина числа получается произведением двух взаимно-неопределимых величин как чисел из дополнительных пространств, подобно координатам ортогональной системы координат (X,Y). Взаимная неопределимость означает случайность, понимаемую как пересечение дополнительных детерминизмов. Тем самым числовая асимметрия изоморфна пространству комплексных чисел. Величина числа имеет вид (12)

$$\| u \| = | x |_\infty \cdot | \xi |_2^\alpha , \tag{12}$$

здесь α – фрактальная размерность, важный предмет теории измерений. Это соотношение известно в естествознании как степенные законы вида $y = x^{-\alpha}$, которые постоянно привлекают внимание исследователей в связи с развитием теорий сложности, сетей и задач естествознания в целом [7]. С учетом свойств пп.2-4 величина числа в общем случае получается как тензорное произведение метрик (12). Это произведение имеет верхнюю и нижнюю границу, которую можно трактовать как допустимый интервал неопределённости (13).

$$\| u \|_{\min} \leq \| u \| \leq \| u \|_{\max} \tag{13}$$

Оно может послужить отправной точкой разработки допустимых границ разнообразных вариаций управленческих и технологических решений. С учетом свойства (12) технику тензорного произведения можно применить для нормирования активности или подавления ненужных свойств выбранной подсистемы в пользу общих целей.

6. В каждой точке $u \in U$ наблюдения величины вещественной и *2*-адической части оказываются связанными обратно пропорционально,

$$| x |_{\infty} \approx c_u \cdot (| \xi |_2^{\alpha})^{-1} \tag{14}$$

Поэтому все наблюдаемые параметры имеют двойную характеризацию. В частности наблюдаемый временной параметр Т имеет вид:

$$T = | T |_{\infty} \cdot | T |_2 = t \cdot \tau \tag{15}$$

Здесь t – временной параметр материализации, физического движения, τ – временной параметр системного движения. Соответственно, у Т теперь наличествуют два предела: один, $t \to \infty$, $\tau \to 0$ и, второй, в идеализации $\tau \to \infty$, $t \to 0$. Динамика имеет вид известных апорий Зенона – Дихотомия, Стрела, Ахиллес и черепаха, которые часто рассматривались в теории систем на заре её становления. Двойное время определяет двойную причинность: одну действующую снизу-вверх, от частей к целому, и вторую целевую, направленную, сверху вниз, от целого к частям. Их пересечение образует наблюдаемые/измеряемые параметры. В литературе они известны как восходящая (*upward* –англ.) и нисходящая (*downward* –англ.) причинности.

Тем самым система балансирует на грани интеграции и факторизации, целостности и распада [2]. В этом состоит биологическое содержание системной реальности – живая система создает и поддерживает себя в условиях разрушения своей структуры [8]. Поэтому развитие технической системы сходно с биологической эволюцией – она противостоит энтропийным процессам деградации.

7. Энергетика и картина движений, времени. Можно показать, что пространство систем является энергоинформационным полем

$$U = (e_1 \cdot e_2 \cdot e_3 \cdot e_4) \cdot R \times Z_2, \tag{16}$$

которое соткано временными причинно-рефлексивными кругами, состоящими из кругов. В естествознании они известны как разнообразные природные циклы.

Причинно-рефлексивный цикл (круг) (17) определяется четырьмя потоками (энергиями), как функциями между подпространствами числовой асимметрии [9]:

$$\begin{array}{ccc} Z_2 & \xrightarrow{e_4} & Z_2 \\ e_3 \uparrow & & \downarrow e_2 \\ R & \xleftarrow{e_1} & R \end{array} \tag{17}$$

Здесь e_1 – физическая, e_2 – нисходящая, e_3 – восходящая, e_4 – информационная причинности. Потенциалами являются объекты, скрытые за целыми *2*-адическими Z_2 и вещественными числами R.

Согласно пп.1-6 каждый материальный объект-система имеет свой тонкий, информационный, *2*-адический прообраз (проект, цифровой двойник – *digital twin* – англ.). Тогда четыре потока (энергии) требуют согласования структур материального и информационного образов. Информационный образ имеет своим источником психику, восприятие человека. Поэтому требование целостности есть требование адекватности восприятия, т.е. требование синхронности действий и решений наблюдателя, участника с динамикой системы. Эта проблема остро встала в цифровую эпоху [10]. Эта синхронность возможна при согласовании знаний материального и информационного предметов. Она относится ко всем уровням системной реальности. В частности профессиональная адекватность определяет будущее движения системы, т.е. её цели и смыслы. Эта общесистемная ситуация, она видна на всех масштабах [11].

8. Рефлексивные круги (циклы) делают геометрию пространства бутылкой Клейна, связывая внутреннюю и внешнюю динамику в единое пространство системы. Бутылка Клейна включает в систему также и человека. В ней он занимает позицию как её часть, т.е. находясь внутри системы, так и её цель, занимая позицию вне её.

Нисходящая причинность (от целого к части) в p-адике имеет двойную интерпретацию. На материальном уровне – это цель движения системы. Её языковый, мыслительный аналог – есть смысл. Этот вопрос также обсуждается в теории систем и пока не нашел своего формального эквивалента. В нашей модели числовой асимметрии, сопрягающей материальную и языковую части системы эти понятия обретают числовую перспективу. Полная их разработка требует модели психики человека, и, поэтому, здесь рассматривается только схематически.

Именно смысл и цель делают последовательность символов языка текстом, т.е. целостностью. Можно сказать, что смысл расставляет последовательность символов в *2*-адическое дерево и образует Сущность, иначе, дерево Порфирия – последовательное дихотомическое деление понятий от высших к низшим. Он объединяет число и слово, материю и символ, преобразуя статистический ансамбль символов в систему слов, наделенных смыслом. В этом случае в каждом слове текста отражается всё целое. Для целей работы важно, что смысл и цель генерируют посредством нисходящей причинности дерево Z_2. Части целого, будучи включенными в Z_2- причинность, становятся в нем самоподобными. Они воплощают принцип отбора возможных движений подсистем. Смысл и цель, даже в такой схематичной формализации, связывают модель с практикой управления, сопрягают математическую структуру с предметной. Иными словами, смысл есть критерий адекватности формализации в предметной проблеме. Здесь главным является предметная адекватность детерминированных моделей. Её разработка требует углубления в теорию моделей, теорию измерений и модели психики человека.

В теории моделей такая связь обеспечивается теоремами Бета, Крейга и дилеммой теоретика Гемпеля. Теорема Бета определяет соотношение между синтаксисом и семантикой словесного выражения, интерполяция Крейга находит связь между крайними членами выражения через общий для них интерполяционный элемент, а дилемма теоретика формулирует альтернативу теоретика между предметной и математической исследовательскими моделями Эти три результата можно в первом приближении полагать моделью смысла и цели. Они позволяют отобрать из всех возможных формализаций, ту, которая соответствует практическим устремлениям. Наглядно эти три результата можно представить как соответствие/изоморфизм графов предметных и формальных связей понятий/объектов. В них вершины соответствуют определяемым/измеряемым сущностям, ребра – функциям/связям между ними. Особенным здесь является то, что адекватность модели, будучи графом, является образом, т.е. неаналитическим объектом.

Заключение. Существует возможность построения формальной теории целостности больших технических систем – техноценозов. Как показал опыт, эта теория вполне укладывается в общесистемные идеи, развитые авторами на основе теории фракталов в её представлении числовой асимметрией. Получают своё выражение основные факты общей теории систем – синтез материи и языка, эмерджентность, материальный эквивалент функции и др. Как представляется, развиваемая теория не отрывается от накопленного опыта кибернетики и системного анализа, представленного различными методами принятия решений, теории организаций, делового администрирования, практики планирования. Все они появляются в качестве теоретического воплощения энергетики рефлекторного круга (цикла). Основные соотношения пп.1-8 позволяют интегрировать их в единую «теоретическую бухгалтерию», которая допускает естественное цифровое представление. Модель, однако, требует адекватного «теоретического воплощения» наблюдателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелентьев, Л.А. Методология системных исследований в энергетике/ Л.А. Мелентьев.– М.: Наука, 1995.– 289 с.
2. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. – М.: Высш.шк., 2004. – 616 с.
3. Хорьков С.А., Ценозы, системы и их модели/ С. А. Хорьков, Ф. И. Маврикиди, – Ижевск, Изд.центр. Удм.ун-та, 2021.– 92 с.
4. Садовский, В.Н. Основания общей теории систем/ В.Н. Садовский.– М., Наука, 1974.–280с.
5. Шапиро, И.С. Лекции по топологии для физиков/. И.С.Шапиро, М.А. Ольшанецкий .– Ижевск.:Издательский дом «Удмуртский университет», 1999 .–132с.
6. Маврикиди, Ф.И. Числовая асимметрия в прикладной математике. Фракталы, р-адичсекие числа, апории Зенона, сложные системы/ Ф.И. Маврикиди. – М.: Дельфис, 2015. – 4 16с.
7. Newman, M.E.J. Power laws, Pareto distributions and Zipf's law //Contemporary Physics, 2005, 46:5. – 323-351s.
8. Тринчер, К.С. Биология и информация: Элементы биол. термодинамики / Акад. наук СССР. Ин-т биол. физики. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: : Наука, 1965. –119 с.
9. Хорьков, С.А. Причинность ценозов и систем/ С.А.Хорьков, Ф.И. Маврикиди // Фёдоровские чтения – 2023: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (с элементами научной школы для молодежи), Москва, 15–17 ноября 2023 года. – М.: Национальный исследовательский университет "МЭИ", 2023. –С. 442–450.
10. Компетенции в цифровой экономике: современный кадровый вызов/ Д.А.Андреев , И.В. Андреянова, И.В. Булгакова. и др. – М.: ООО "Издательство "КноРус", 2020. – 216с.
11. Проблемы и риски инженерного образования в XXI веке / И. А. Герасимова, О. М. Смирнова, А. Н. Фалеев и др. ; под общ. ред. И. А. Герасимовой ; Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, Институт философии Российской академии наук. – М.: Университетская книга, 2017. – 309 с.

6. ГРУППОВАЯ, *p*-АДИЧЕСКАЯ И ВЕРОЯТНОСТНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ФАКТОРИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЦЕНОЗА*

Аннотация. В качестве эталонного распределения элементов в ценозе Б.И.Кудрин предложил использовать дискретное распределение простых сомножителей в факториале некоторого числа. Здесь показано, что факториальная модель структуры ценоза может быть представлена в виде подгрупп Силова, сложного иерархического *p*-адического дерева и безгранично делимых распределений. Групповая, *p*-адическая и вероятностная интерпретации факториальной модели структуры ценоза позволяют получить новые методы его анализа, открыть и изучить новые свойства модели ценоза.

Ключевые слова: система, ценоз, математическое моделирование, числовая асимметрия, фрактальная геометрия, *p*-адические числа,

Ценологические понятия и представления широко применяют в промышленной электроэнергетике при анализе, проектировании, эксплуатации и ремонте оборудования электрохозяйства. В качестве эталонного распределения элементов в ценозе Б.И.Кудрин предложил использовать дискретное распределение простых сомножителей в факториале некоторого числа $N!$ [1]. (Факториал есть число перестановок (перемещений) цифр числа, стоящего под знаком факториала).

Запишем факториал через степени простых чисел.

$$N! = p_1^{k_1} \cdot p_2^{k_2} \cdot \ldots \cdot p_i^{k_i} \cdot \ldots \cdot p_n^{k_n}, \tag{1}$$

где $p_i^{k_i}$ – i-ое простое число в степени k_i; n – число простых чисел в разложении факториала.

Б.И.Кудрин интерпретирует каждое простое число как вид в ценозе, а степень числа – количество особей в виде. Количественно вид характеризуют

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. Групповая, р-адическая и вероятностная интерпретации факториальной модели структуры ценоза [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков // Фёдоровские чтения 2018 : XLVIII Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк., Москва 14-16 нояб. 2018 г. / М-во науки и ВО РФ, Национ. исслед. ун-т "МЭИ" ; под общ. ред.: Б. И. Кудрина, Ю. В. Матюниной. – Москва : Издат. дом МЭИ, 2018. – С. 26-31.

популяцией – числом особей в виде. Число элементов в видах с равным количеством элементов, т.е. с равными популяциями, называют кастой. Видовое распределение есть зависимость видов (популяций) от числа элементов в касте. Ранговидовое распределение – зависимость видов (популяций) от рангов. Модель Б.И.Кудрина позволяет описать видовое и ранговидовое распределения ценоза. Эта модель имеет групповую, *р*-адическую и вероятностную интерпретацию.

Групповой подход связан с исследованием структуры факториальной модели ценоза методами теории групп. Группа есть множество элементов с двухместной ассоциативной операцией (два любых элемента группы порождают третий элемент группы), одноместной операцией (каждый элемент группы имеет обратный элемент). с нульместной операцией (группа имеет единичный элемент). С групповой точки зрения факториал это перестановка (перемещение) цифр числа, стоящего под знаком факториала. На основе перестановки (перемещения) вводят подстановку. Подстановка есть операция, состоящая в переходе от одной перестановки (перемещения) к другой перестановке (перемещению). Подстановка является группой. Подстановки можно умножать друг на друга, единичная подстановка не изменяет перемещение, для каждой подстановки существует обратная подстановка. Произведение подстановки на обратную – даёт единичную подстановку.

В теории групп известна теорема Лагранжа: порядок любой подгруппы конечной группы является делителем порядка группы. Теорема Лагранжа обращается лишь частично. Если простое p делит порядок группы $n = |G|$, то в группе G есть элемент порядка p (теорема Коши), а если $p^к$ делит $n = |G|$, то G имеет подгруппу порядка $p^к$ (теоремы Силова) [2].

При изучении конечных групп важную роль играют силовские *р*-подгруппы. Силовской или максимальной *р*-подгруппой называют подгруппу $H \subset G$ порядка $|H| = p^k$ при максимально возможном *к*. Основные результаты, полученные Силовым и оформленные в виде теорем, таковы. Силовская подгруппа существуют, если для каждой степени p^{κ}, делящей порядок группы, существует подгруппа порядка p^{κ}. Силовская подгруппа порядка p^{κ} вложена в подгруппу $p^{\kappa+1}$, если p-подгруппа порядка $p^{\kappa+1}$ также делит порядок группы. Все силовские подгруппы сопряжены друг с другом, число максимальных подгрупп $s_p = 1 \pmod p$ и s_p делит порядок группы [2].

Выражение (1) следует представить в виде группы подстановок, и записать его через порядки группы и силовской подгруппы в виде

$$|N!| = p_i^{k_i} \cdot \left| p_1^{k_1} \cdot p_2^{k_2} \cdot \ldots \cdot p_n^{k_n} \right|, \tag{2}$$

где $|N!|$ – порядок группы, $\left| p_1^{k_1} \cdot p_2^{k_2} \cdot \ldots \cdot p_n^{k_n} \right|$ – порядок $p_i^{k_i}$-силовской подгруппы.

Выражение (2) можно записать подобным образом для любого p^{κ}.

Таким образом, факториальная модель структуры ценоза является сложной группой, состоящей из конечного числа силовских подгрупп, каждые из которых могут быть попарно сопряжены и вложены друг в друга. Этот вывод имеет непосредственное отношение к видовой структуре ценоза и вложенности его структурных элементов друг в друга.

p-Адический способ исследования структуры факториальной модели ценоза ориентирован на выделении в ней p-адических норм. Такой подход позволяет получить сложное иерархическое дерево. В [3] показано, что инверсия номеров уровней деления p-адического дерева имеет гиперболическое распределение.

Запишем выражение (1) так, чтобы в нём явно была видна норма поля p-адических чисел

$$\left\| N! \cdot p_1^{-k_1} \cdot p_2^{-k_2} \cdot \ldots \cdot p_n^{-k_n} \right\|_{p_i} = p_i^{-k_i}. \tag{3}$$

Подобным образом его записывают для любого p^{κ}, входящего в разложение факториала. Способ записи (3) позволяет представить модель Кудрина в виде сложного иерархического дерева, которое имеет несколько способов ветвления. На рис.1 представлен демонстрационный пример сложного иерархического дерева с p ветвями в каждой вершине (2,3,5) для факториала $5! = 120 = 2^3 \cdot 3^1 \cdot 5^1$.

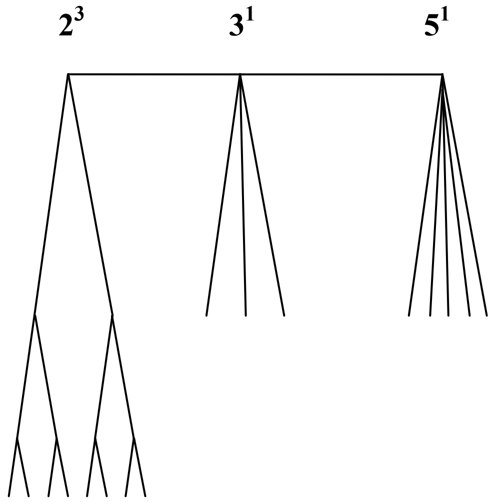
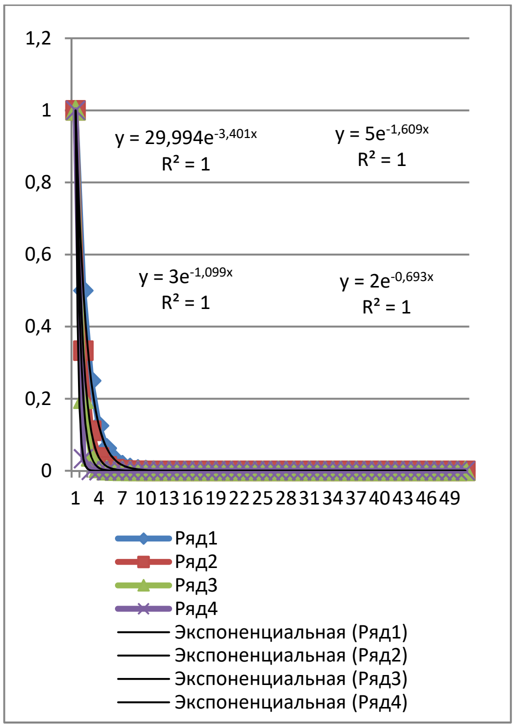


Рис. 1. Сложное иерархическое дерево, соответствующее разложению факториала числа 5! в степени простых чисел.



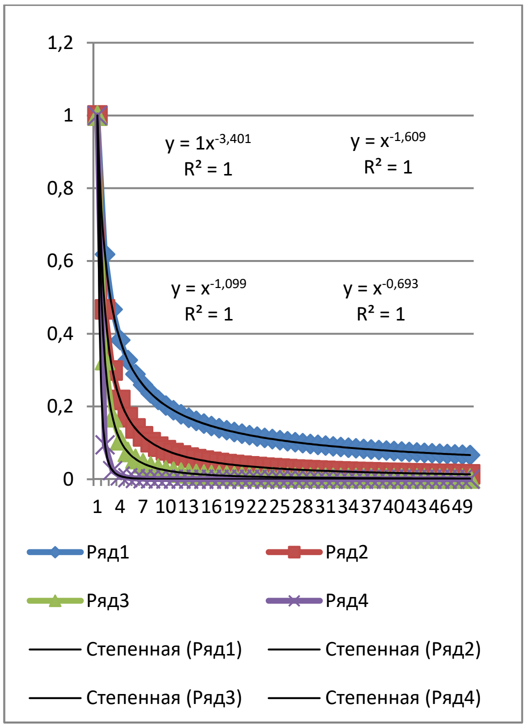


Рис. 2. Экспоненты составляющих и их сумма для сложного иерархического дерева соответствующего факториалу 5!

Рис. 3. Гиперболы составляющих и их сумма для сложного иерархического дерева соответствующего факториалу 5!

Из рис. 1 видно, что степени простых чисел (3,1,1) соответствуют уровням ветвления *2-,3-,5-* адических чисел, а произведение чисел, с сомножителями соответствующими числу элементов на последнем уровне деления сложного иерархического дерева, равно значению факториала числа $5! = 120 = 8 \cdot 3 \cdot 5$.

*p-А*дический аспект модели структуры ценоза Кудрина позволяет рассмотреть её с вероятностной точки зрения. Он заключен в представлении *p*-адического иерархического дерева, при числе элементов стремящихся к бесконечности, в виде устойчивого безгранично делимого распределения. Тогда иерархический образ модели имеет прямое отношение к центральной предельной теореме теории вероятностей для устойчивых безгранично делимых распределений [4].

Рассмотрим пример, который взят из работы [3]. Там приведено выражение $y = 2^{-x} = \exp(-x \ln 2)$ для распределения элементов *2*-адического дерева по размеру. Эта форма записи соответствует характеристической функции безгранично делимого распределения Коши [4]. Образом такого распределения является иерархическое дерево, а естественным пределом деления – множество Кантора. Для сложного иерархического дерева, соответствующего разложению факториала 5!, характеристическая функция распределения Коши имеет вид $y = \exp(-x(\ln 2 + \ln 3 + \ln 5))$. Для этого дерева на рис.2 представлены экспоненты для составляющих и их сумма при числе элементов стремящихся к бесконечности, а на рис.3 представлены соответствующие им гиперболы.

Из рис. 2,3 видно, что суммарные значения характеристической функции в виде экспоненты и соответствующей ей гиперболы имеет такой же вид как и их составляющие. И тем самым они наглядно представляют устойчивые безгранично делимые распределения.

Таким образом, факториальная модель структуры ценоза Б.И.Кудрина может быть представлена в виде подгрупп Силова, в виде сложного р-адического дерева и в виде безгранично делимых распределений.

Групповая, *p*-адическая и вероятностная интерпретации факториальной модели ценоза позволяют изучить её новые свойства и получить новые методы её анализа.

Приведенный подход связывает модель структуры ценоза через простые числа с другими разделами математики и поэтому вносит определенный вклад в техноценологические основания науки об электрическом хозяйстве потребителей электротехнической продукции, электрической энергии и мощности [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин, Б. И. Два открытия: явление инвариантности структуры техноценозов и закон информационного отбора/ Под общ. ред. Г.А. Петровой –.М.: Технетика, 2009. – 82с.
2. Каргаполов, М.И. Основы теории групп. Учебное пособие./ М.И. Каргаполов, Ю.И. Мерзляков// 5-ое изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 288с.
3. Хорьков, С.А. Числовая модель электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия //Промышленная энергетика. 2018. №5. С.44-51.
4. Гнеденко, Б.В.Предельные распределения для сумм независимых случайных величин/ Б.В. Гнеденко, А.Н. Колмогоров. – М.-Л.: Гостехтеориздат.1949. – 264с.
5. Кудрин, Б.И.Техноценологические основания науки об электрическом хозяйстве потребителей электротехнической продукции и электрической энергии и мощности. Монография./ Б.И. Кудрин, С.А. Цырук// Вып.56. «Ценологические исследования». – М.: Технетика, 2015. – 293с.

7. ОБ ЭКСПОНЕНТЕ, СТЕПЕННОЙ ФУНКЦИИ И ГИПЕРБОЛЕ В ЦЕНОЛОГИИ*

Аннотация. Показано, что в модели ценоза показательную (экспоненциальную) функцию, описывающую распределение количества элементов по его видам (рангам), преобразуют, в ней аргумент (показатель степени) заменяют логарифмом аргумента и получают степенную функцию. Показано, что в модели ценоза в виде иерархического дерева показательная функция (экспонента) характеризует распределение количества элементов или распределение их размера по видам (рангам), а степенная функция (гипербола) характеризует распределение расстояния (и времени) между уровнями ветвления дерева. Установлено, что коэффициент при аргументе показателя степени показательной функции и показатель степени степенной функции выражают через логарифм от количества элементов в узле ветвления иерархического дерева. Показано, что в степенной функции величина этого показателя и её знак характеризуют скорость и направление ветвления иерархического дерева, соответственно.

Ключевые слова: модель ценоза, самоподобная структура, иерархическое дерево.

Термин «ценоз» появился в составе термина «биоценоз» ещё во второй половине 19 века. Понятие ценоз (техноценоз), как таковое, появилось и его стали употреблять во второй половине 20 веке. Появлению понятия предшествовали научные исследования сообществ с гиперболическими распределениями в частотной и ранговой формах. Эти распределения, получившие названия – законы Парето-Ципфа, находили (и находят) в экономике, наукометрии, биологии, социологии, лингвистике, астрономии, информатике, технике и других областях науки и практики [1].

Появление понятия ценоза (техноценоза) обусловлено вовлечением в сферу практики сложных систем (объектов, сообществ, хозяйств), состоящих из множества разновеликих частей (элементов), которые нужно проектиро-

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. Об экспоненте, степенной функции и гиперболе в ценологии [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков // Управление техносферой. . – 2019. . – Т. 2, вып. 1. - С. 116-124.

вать, эксплуатировать и ремонтировать. Понятие ценоза позволяет работать с бесконечным рядом самоподобных величин и объектов. До его введения понятийный аппарат позволял работать только с единичными и конечными объектами.

Разработка искусственных сложных систем по типу «природных технологий», большое разнообразие таких систем ставит практические и научные вопросы исследования ценозов (техноценозов). В моделях ценозов широко используют показательные (экспоненциальные) и степенные (гиперболические) функциональные зависимости [2,3]. Для ценологии актуальным является вопрос об их взаимосвязи и интерпретации.

Рассмотрим соответствие между этими зависимостями для сообщества с самоподобной структурой [4]. В модели этого сообщества в показательной функции, описывающей распределение количества элементов по его видам (рангам), аргумент (показатель степени) заменяют логарифмом аргумента и получают степенную функцию. Замену производят для удобства работы с сообществом, имеющим значительное (бесконечно большое) число элементов. В тоже время, при такой замене получают дополнительный эффект. Его появление обусловлено тем, что логарифмирование позволяет выделить на логарифмической шкале периоды (декады, октавы) степенной связи [4].Через логарифм определяют энтропию и количество информации. Логарифмирование есть не только формальное действие, но и другая точка зрения на бесконечность, на нелинейность, на сумму и на произведение чисел (величин). Логарифмирование чисел (величин) позволяет перевести операцию «умножения» (повтора) в операцию «суммы».

Основание логарифма $log_aN=x$, т.е. число a, которое необходимо возвести в степень x, чтобы получить число N, может быть представлено разными числами. Употребительные системы логарифмов имеют основания *2, 10, e=2,71828...* Здесь уместно отметить, что экспоненту получают по выражению $e = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!}$, т.е. её получают через бесконечную сумму частных, полученных в результате деления 1 (единицы) на факториал последовательного ряда чисел *n!*. Другими словами, экспонента *e* выражает глубинную связь между единичным целым и отдельными частями его составляющих. Логарифм с основанием *10* называют десятичным логарифмом, а – с основанием *e* – натуральным. Связь между логарифмами с разными основаниями получают по выражению $log_aN = (log_bN)\ log_ab$. В компьютерных дисциплинах экспоненту *e* обозначают как *exp.*

Логарифмирование степенных (гиперболических) распределений выделяет их периодичность, но уже на логарифмической шкале. Логарифмическая ось не имеет характерного масштаба, её декады (октавы) имеют один «размер» и для больших и для малых значений чисел (величин). Логарифмическая ось не имеет нуля, а потому – удобна для работы с бесконечностью.

Рассмотрим соответствующий пример: $y=2^x=exp(xln(2))$.Смысл (уместно сказать физический смысл) показательной функции заключается в том, что она показывает то, во сколько раз следует повторить основание функции. В данном случае основание *2* повторяют неизвестное вещественное число *x* раз.

Если аргумент *x* заменить на *ln(x)*, то получают $y=2^{\ ln(x)}=exp(ln(x)(ln(2)))= x^{ln(2)}$.Таким образом, при замене аргумента на его логарифм из показательной функции получают другую форму функциональной связи – степенную функцию. Она показывает, что неизвестная наперед величина *x* изменяется со скоростью, соответствующей известной степени *ln(2),* в положительном направлении, знак «плюс» опущен. Очевидно, что для обозначения противоположного направления, знаком степени будет «минус». Соответствующий пример для этого случая также имеет вид степенной функции: $y=2^{-ln(x)}=exp(-ln(x)(ln(2)))=x^{-ln(2)}$. Частным случаем степенной функции является гиперболическая функция. Запись гиперболической функции через экспоненту имеет вид $y=e^{-ln(x)}=exp(-ln(x))=x^{-1}$.

На примере *2*-адического и абстрактного *Exp*-адического (*E*-адического) иерархических деревьев рассмотрим, как проявляет себя взаимосвязь показательных и степенных функций. На рис.1 показана модель ветвящейся структуры *2*-адического дерева с 4-мя внешними (слева) и 4-мя внутренними (справа) уровнями ветвления.

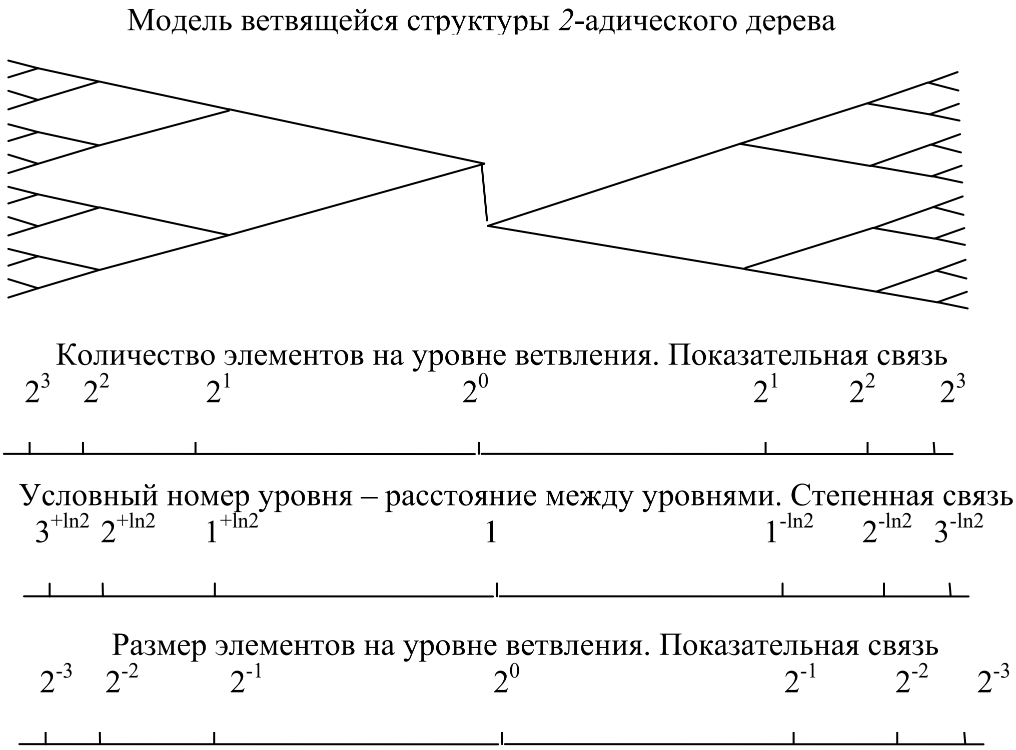


Рис.1. Модель ветвящейся структуры 2-адического дерева с 4-мя внешними (слева) и 4-мя внутренними (справа) уровнями ветвления. Внутренние уровни ветвления представляют иерархическую структуру модели ЭМЦПП. Внешние уровни ветвления представляют инверсию структуры модели ЭМЦПП

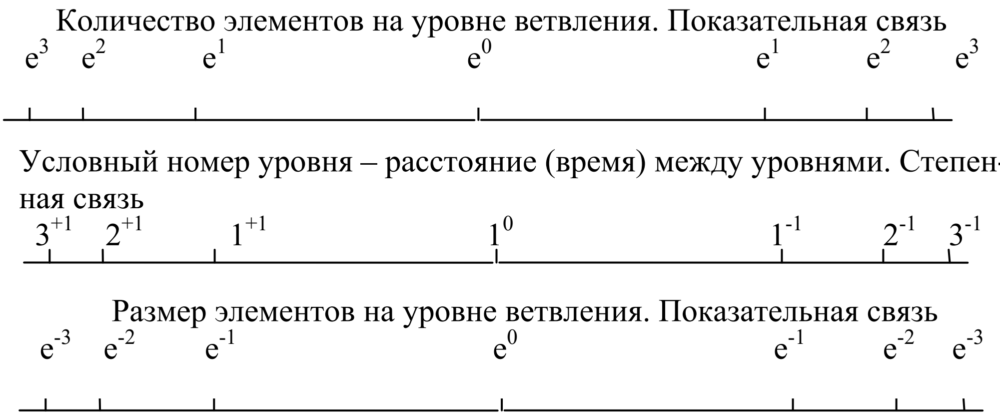


Рис. 2. Для ветвящейся структуры абстрактного *Е*-адического дерева с 4-мя внешними (слева центра) и 4-мя внутренними (справа от центра) уровнями ветвления: количество элементов на уровне, условный номера уровня и размер элемента на уровне, соответственно

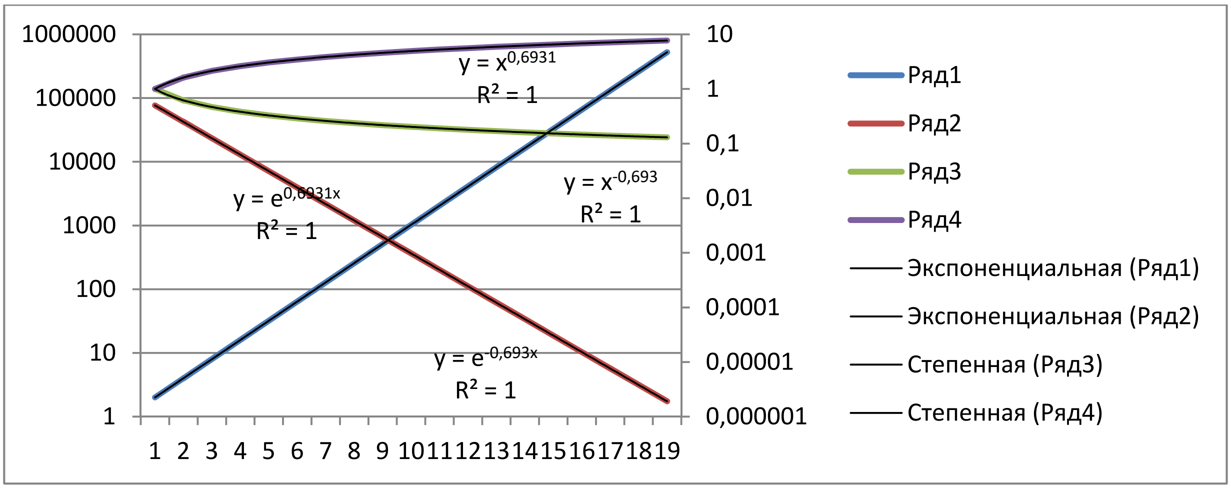


Рис. 3. Показательные (экспоненты) и степенные функции в логарифмическом масштабе для ветвящейся структуры *2*-адического дерева с 20-ю внешними и 20-ю внутренними уровнями ветвления. Ряд 1-число элементов на внешних и внутренних уровнях; Ряд 2-размер элементов на внешних и внутренних уровнях; Ряд 3-расстояние между внутренними уровнями; Ряд 4- расстояние между внешними уровнями.

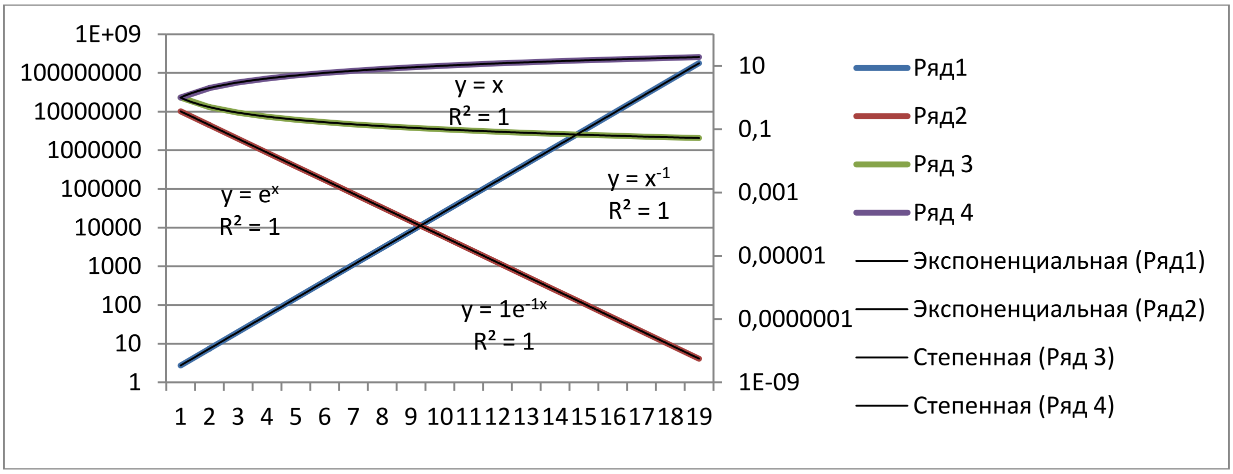


Рис. 4. Экспоненты (показательные функции), гипербола и инверсия гиперболы в логарифмическом масштабе для ветвящейся структуры абстрактного *E*-адического дерева с 20-ю внешними и 20-ю внутренними уровнями ветвления. Ряд 1-число элементов на внешних и внутренних уровнях; Ряд 2-размер элементов на внешних и внутренних уровнях; Ряд 3-расстояние между внутренними уровнями; Ряд 4- расстояние между внешними уровнями

Внутренние уровни ветвления представляют иерархическую структуру модели ценоза [5]. Внешние уровни ветвления представляют инверсию структуры модели ценоза во внешний мир.

На рис. 1 ниже иерархического дерева последовательно показаны: ось количества элементов на уровне, связанная показательной функцией, ось расстояния (и времени) между уровнями, связанная степенной функцией, ось размера элементов на уровне, связанная показательной функцией.

Из рис.1 видно, что степенная ось симметрична относительно отметки «1» в логарифмическом масштабе, а показательные оси симметричны относительно отметки «1» в обычном масштабе. На рис.3 показаны графики этих функций для *2*-адического дерева с 20-ью внешними и 20-ью внутренними уровнями ветвления.

Из сравнения рис.1 и 3. следует, что показательная и степенная функции иерархического дерева связаны через логарифмический аргумент. На рис. 2 и рис.4 показаны оси и графики функций *E*-адического дерева, аналогичные осям и графикам функций *2*-адического дерева, изображенным на рис.1 и рис.3, соответственно. Отличие графиков рис. 3 отрис. 4 заключается в том, что графики степенной и экспоненциальной функций рис. 3 имеют степень (коэффициент при аргументе степени), абсолютная величина которой равна $ln(2)$=0,693..,а графики функций на рис.4 имеют степень (коэффициент при аргументе степени), абсолютная величина которой равна 1. Следует отметить, что на рис.2 степенной ряд с показателем степени по абсолютной величине равным 1, объединяет натуральный ряд и гиперболический ряд. Этот ряд в логарифмическом масштабе является симметричным относительно 1, а – в обычном масштабе является инверсным относительно 1.

Кроме того, уместно отметить следующую интерпретацию иерархической модели ценоза. Узел ветвления представляет собой вид в ценозе, а количество элементов в нём – популяцию. Уровень ветвления – представляет собой род, а количество элементов на уровне ветвления представляет собой касту. Эти термины соответствуют терминологии из [1].

Выводы

1. В модели ценоза (техноценоза) показательную функцию, описывающую распределение количества элементов по его видам (рангам), преобразуют. В ней заменяют аргумент (показатель степени) логарифмом аргумента и полу-

чают степенную функцию. Это позволяет выделить на логарифмической шкале уровни-периоды (декады, октавы) степенной связи.

2.В модели ценоза (техноценоза) в виде иерархического дерева показательная функция (экспонента) характеризует распределение количества элементов сообщества или распределение их размера по видам (рангам), а степенная функция (гипербола) характеризует распределение расстояния (и времени) между уровнями ветвления дерева. Величина показателя степени и её знак характеризуют скорость и направление ветвления (эволюции) иерархического дерева, соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин, Б. И. Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические Н-распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта / Б. И. Кудрин: В кн.: Философские основания технетики. Вып. 19. «Ценологические исследования». – М.: Центр системных исследований. –2002. – С.357-412.
2. Жилин, Б.В. Энтропийный критерий на использование конечного ресурса в границах ценоза/ Б.В. Жилин: В кн.: Философские основания технетики. Вып.19. «Ценологические исследования». – М.: Центр системных исследований.–2002. – С.286-290.
3. Жилин, Б.В. Техноценологический подход Б.И. Кудрина и его развитие/Б.В. Жилин: В кн.: Ценологическое видение сообществ материальных и идеальных реальностей: фундаментальность теории и всеобщность практики. Вып.53. «Ценологические исследования». – М.: Технетика. – 2014. – С.389-404.
4. Шредер, М.Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая/ М.Шредер.– Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика».– 2006. – 528с.
5. Хорьков, С.А. Числовая модель электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия / С.А. Хорьков // Промышленная энергетика. – 2018. – №5. – С.44-51.
6. Хорьков, С. А. Проблема расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, модели и методики для ее решения : монография / С. А. Хорьков ; рецензент: В. К. Барсуков, В. П. Иванников, А. А. Липаев [и др.]. – Ижевск : ИжГТУ им. М. Т. Калашникова, 2019. . – 123, [1] с. : ил. ; 60х84/16. . – Библиогр.: с. 111-117.

8. О РУЧНОМ И СТИХИЙНОМ СЛУЧАЕ В МОДЕЛИ ТЕХНОЦЕНОЗА*

Аннотация. Для различения ручного и стихийного случая по Мандельброту предложено использовать геометрическую модель техноценоза. Если случайный вектор на проекции гиперболоида не зависит ни от величины составляющих, ни от направления вектора, то случай является ручным – гауссовым. При этом показатель степени функционального выражения, описывающего проекцию гиперболоида, строго равен 2. Если случайный вектор на проекции гиперболоида зависит от величины составляющих и от направления вектора, то случай является стихийным – негауссовым. При этом показатель степени функционального выражения может принимать занчения в диапазоне между 0 и 2.

Ключевые слова: техноценоз, случайный вектор, ручной случай, стихийный случай.

Геометрическую модель техноценоза (ценоза) в виде гиперболоида [1,2] следует рассматривать как основу для предварительного различения ручного и стихийного случая по [3]. Мандельброт связывает ручной случай с «первой стадией» неопределенности в науке и указывает, что «неизбежным оказывается переход к некоей «второй стадии», причем эти два «состояния» имеют внутренне различные свойства [3]. Выделение этих стадий нельзя отнести к традиционному способу классификации неопределенностей в науке. Однако этот способ открывает новое направление в изучении самоподобных явлений вообще и – ценозов в частности и поэтому требует дополнительного рассмотрения.

Отправной точкой традиционной теории вероятности является множество $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, ...\}$, называемое пространством элементарных событий. На этом пространстве задана функция $p(\omega_i)$, значения которой считают вероят-

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. О ручном и стихийном случае в модели техноценоза [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков // Управление техносферой. - 2019. - Т. 2, вып. 3. - С. 282-292. - Библиогр.: с. 289–290.

ностями элементарных событий ω_i. Значения функции принимают из сегмента [0,1], они удовлетворяют условию нормировки $\sum_{\Omega} p(\omega_i) = 1$. Множества $A \subset \Omega$ называют событиями и определяют их вероятности в виде $P(A) = \sum_{\omega_i \in A} p(\omega_i)$. В настоящее время в теории вероятности не определяют, что такое вероятность элементарного события. (Определить понятие – означает выразить его через другие понятия. Нельзя определить вероятность события в геометрической точке. Уместна аналогия. В физике нельзя определить температуру одной молекулы.). Вероятность события (сложного события) определяют через вероятность элементарного события. На вероятностном пространстве $(\Omega, U, P(A))$, где U алгебра событий типа A определяют случайную величину [4], под которой понимают числовую функцию $X(\omega)$, заданную на множестве Ω. Она получена (порождена) на основе функции $X(u)$ заданной на U при условии $u = \omega$ [5]. Для описания свойств случайной величины используют её грубую характеристику, называемую функцией распределения $F(x) = P(X(\omega) < x)$, и её плотность распределения $g(x) = F^{'}(x)$ [5]. Эти характеристики достаточно просто получают на основе экспериментальных исследований. Случайные величины (или случайные события) по результатам наблюдений изучают в статистике [4].

Случайные величины, с которыми приходится иметь дело на практике, очень часто подчинены нормальному закону распределения, известному также как «закон распределения Гаусса». Поэтому области теории вероятности и статистики, связанные с нормальным законом, называют иногда гауссовыми. Теория вероятности изучает многие другие законы распределения, например, устойчивые законы распределения (безгранично делимые законы распределения) и ветвящиеся процессы [6]. Указанные законы и процессы имеют гиперболические (степенные) распределения или связаны с такими распределениями. На практике им соответствуют законы Ципфа-Парето. Эти законы иногда называют негауссовыми [7].

Удобно считать, что моделью ручной статистики является гауссова теория вероятности, а моделью стихийной статистики – негауссова теория. Различие теорий удобно показать в расширенном контексте, используя вместо случайной величины случайный вектор $x=(x_1...x_n)$ [4]. Выражение для плотности нормального закона $p(x)$ выводят на основе двух свойств случайного вектора $x=(x_1,...x_n)$: 1) величины x_i независимы, т.е. $p(x)=p(x_1)...p(x_n)$; 2) $p(x)$ не зависит от направления вектора x, т.е функция $p(x) = p(x_1^2 + ... + x_n^2)$ постоянна на сферах $x^2 = x_1^2 + ... + x_n^2 = const$.

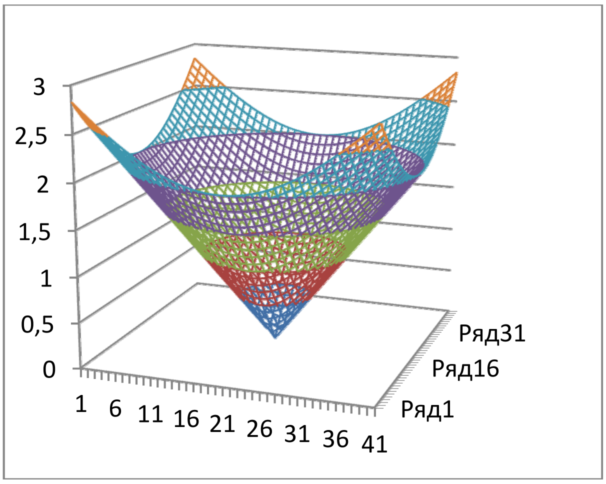


Рис. 1. Верхняя часть асимптотического конуса двуполостного гиперболоида симметричного относительно плоскости XY при α = 2

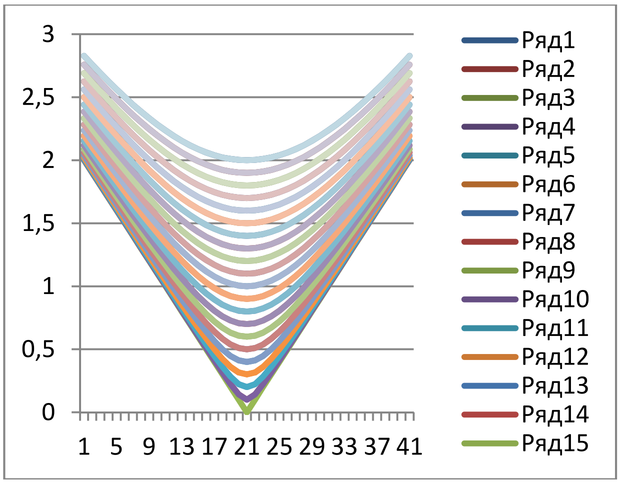


Рис. 2. Сечения верхней части асимптотического конуса двуполостного гиперболоида секущей плоскостью ZY при различных X и α = 2

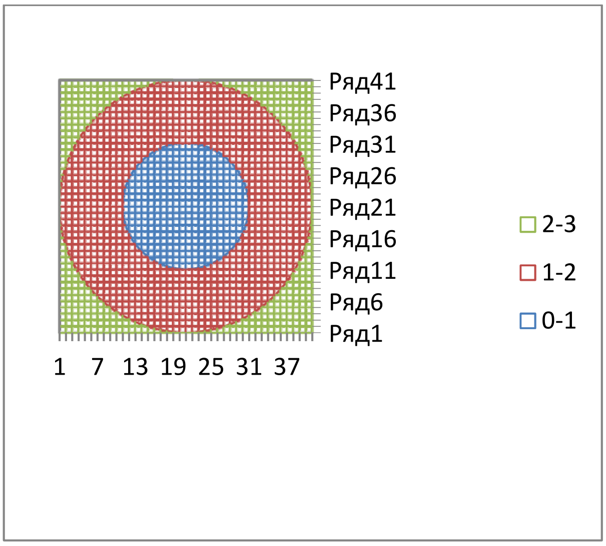


Рис. 3. Сечения верхней части асимптотического конуса двуполостного гиперболоида секущей плоскостью XY при Z = const и α =2

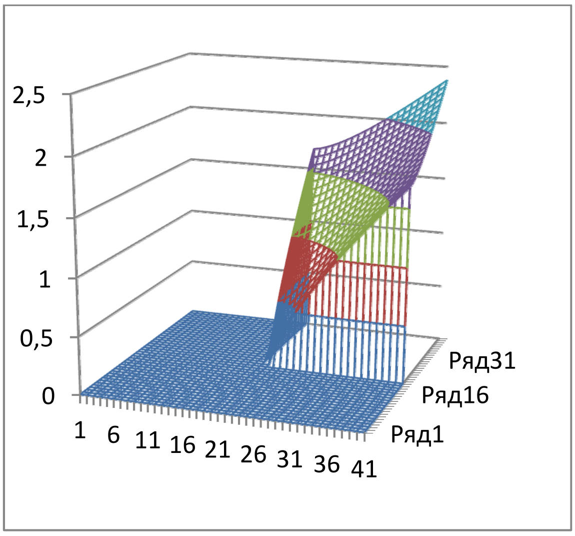


Рис. 4. Верхняя часть асимптотического конуса двуполостного гиперболоида симметричного относительно плоскости XY при α = 1,5

Выражение, объединяющее эти два условия, имеет вид $\nabla Ln(p(x)) = \lambda \nabla x^2$, где ∇ – оператор градиента, λ – коэффициент пропорциональности, и даёт нормальный закон распределения [4].

Случайный вектор, обладающий свойствами: 1) его величины x_i также независимы друг от друга; 2) однако *p(x)* зависит от направления вектора *x*, является основой для моделирования стихийной статистики.

Свяжем ручной случай с проекцией асимптотического гиперболоида в виде окружности, а стихийный случай с его проекцией в виде гиперболы [1]. Проекция в виде окружности «связана» с одной «частотой», как и гауссова статистика, а проекция в виде гиперболы, поскольку она связывает разные окружности, с большим количеством «частот», как негауссова статистика [8]. Для проекции гиперболоида в виде окружности на рис. 1-3 показатель степени в выражении $C_1^{\alpha} + C_2^{\alpha} = 1$, где C_1, C_2–постоянные, равен $\alpha = 2$, закон распределения является нормальным, а соответствующая статистика –ручной. Для нормального закона плотность распределения не зависит ни от составляющих случайного вектора, ни от направления вектора.

Если показатель степени α находится в диапазоне $0 < \alpha < 2$, то проекции гиперболоида на рис. 4-12 не имеют формы окружности и выражение для плотности вероятности нельзя найти в элементарных функциях [5,9]. При этом нельзя точно сказать какую форму приобретают проекции гиперболоида. Поэтому зависимость плотности распределения от направления случайного вектора *x* однозначно определить невозможно. Таким образом, статистика, соответствующая $0 < \alpha < 2$, является стихийной негауссовой. Вычислить значение дисперсии для этого случая не представляется возможным.

Проекция асимптотического гиперболоида в виде гиперболы соответствует уровням иерархического дерева гиперболического пространства. Очевидно, что составляющие случайного вектора для гиперболического распределения и направление случайного вектора зависят от направления оси и асимптот гиперболоида. Последнее объясняют тем, что иерархическое дерево «растет» в определенном направлении от условного низа (корня) к условному верху (кроне). Статистика на гиперболическом пространстве является негауссовой стихийной статистикой. Её дисперсия при увеличении уровней ветвления иерархического дерева стремится к бесконечности и не может быть определена. Случай, связанный с иерархической сетью, изучают в теории ветвящихся процессов [10,11]. Модель, описываемую ветвящимся процессом, часто называют популяцией [6].

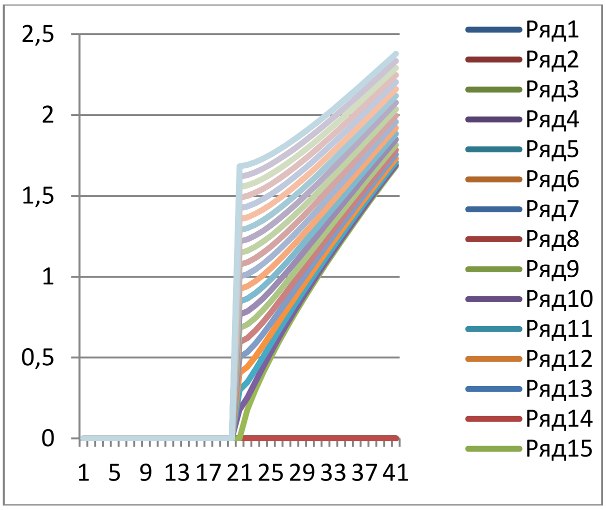


Рис. 5. Сечения верхней части асимптотического конуса двуполостного гиперболоида секущей плоскостью ZY при различных X и α =1,5

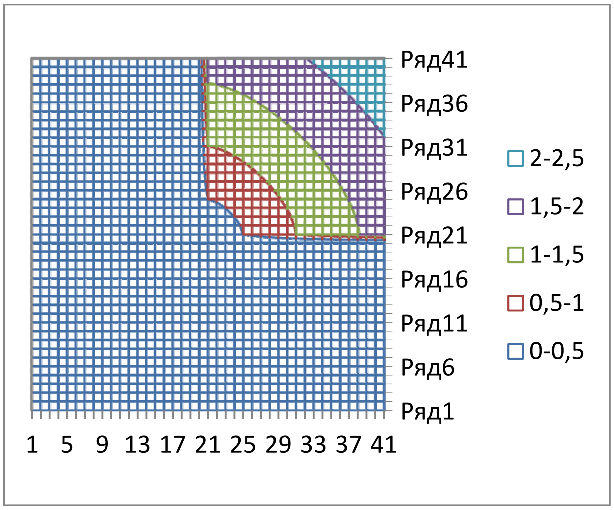


Рис. 6. Сечения верхней части асимптотического конуса двуполостного гиперболоида секущей плоскостью XY при Z = const и α =1,5

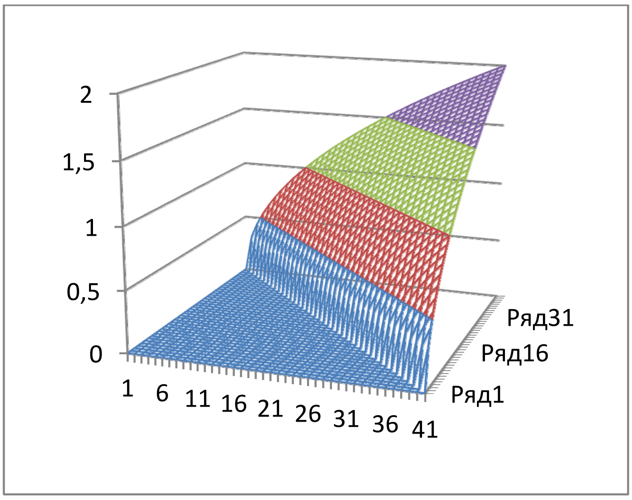


Рис. 7. Верхняя часть асимптотического конуса двуполостного гиперболоида симметричного относительно плоскости XY при α =1

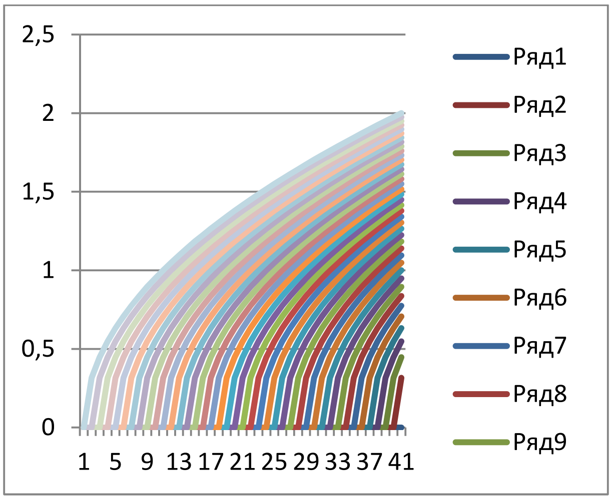


Рис. 8. Сечения верхней части асимптотического конуса двуполостного гиперболоида секущей плоскостью ZY при различных X и α =1

Таким образом, строгое разделение ручного и стихийного случая на геометрической модели техноценоза осуществляют при помощи случайного вектора. Ручной гауссов случай предполагает независимость составляющих случайного вектора друг от друга и от его направления; такими свойствами случайный вектор обладает на проекции гиперболоида в виде окружности с коэффициентом $\alpha = 2$.

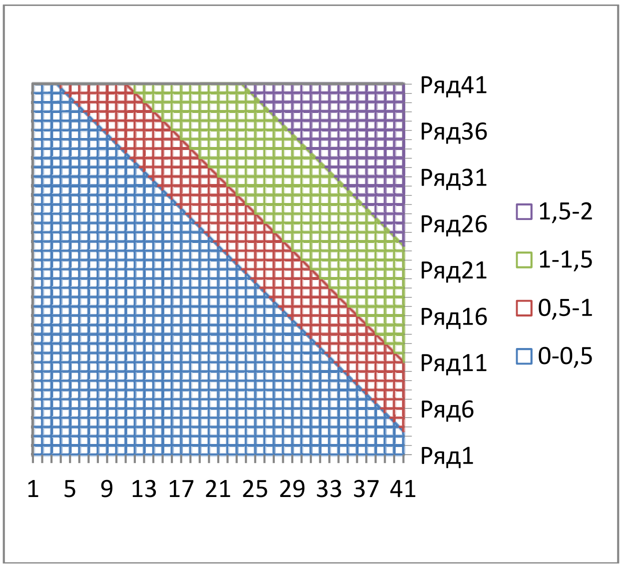


Рис. 9. Сечения верхней части асимптотического конуса двуполостного гиперболоида секущей плоскостью XY при Z = const и α =1

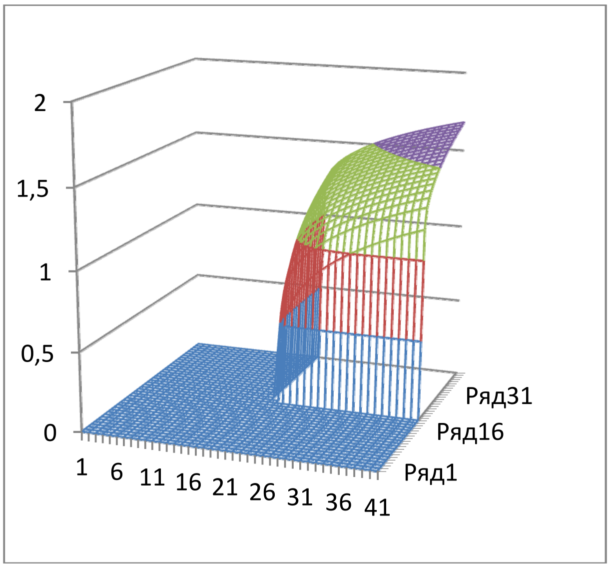


Рис. 10. Верхняя часть асимптотического конуса двуполостного гиперболоида симметричного относительно плоскости XY при α = 0,5

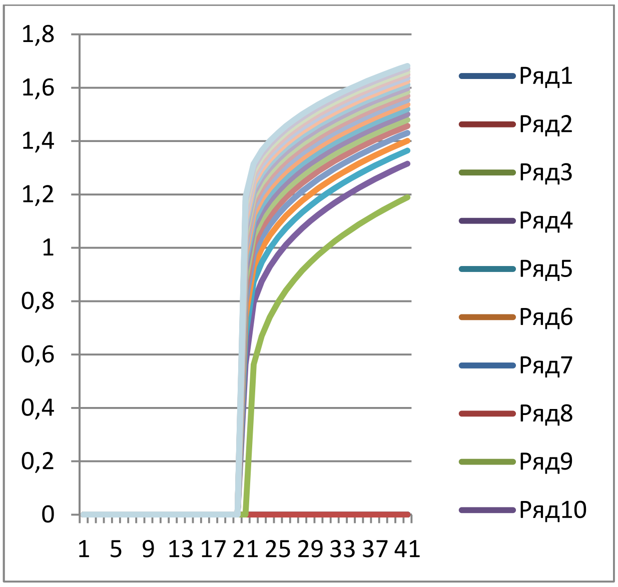


Рис. 11 Сечения верхней части асимптотического конуса двуполостного гиперболоида секущей плоскостью ZY при различных X и α = 0,5

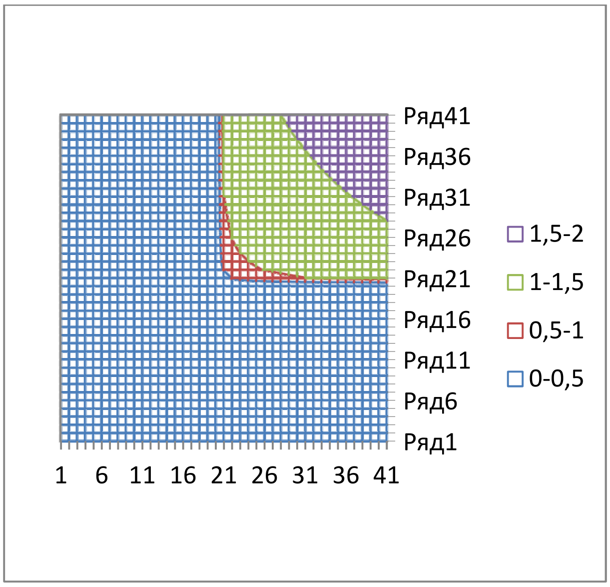


Рис. 12.Сечения верхней части асимптотического конуса двуполостного гиперболоида секущей плоскостью XY при Z = const и α = 0.5

Стихийная негауссова статистика связана с зависимостью составляющих случайного вектора друг от друга и с зависимостью случайного вектора от некоторого направления. Она имеет два подслучая, которые выделяют через проекции модели техноценоза (ценоза) в виде гиперболоида. Проекция в виде гиперболы связана с зависимостью составляющих от некоторого направления. Проекции асимптотического гиперболоида, соответствующие показателю степени $0 < \alpha < 2$, не позволяют однозначно определить направление случайного вектора и поэтому также соответствуют стихийной негауссовой статистике.

Выводы

Модель техноценоза в виде гиперболоида позволяет различать ручной и стихийный случай по Мандельброту. Это делают при помощи случайного вектора и проекций гиперболоида. Если случайный вектор на проекции асимптотического гиперболоида не зависит ни от величины составляющих, ни от направления, то случай является ручным – гауссовым. Если случайный вектор на проекции асимптотического гиперболоида зависит от величины составляющих и от направления вектора, то случай является стихийным – негауссовым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорьков, С.А. Исследование структуры электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия с целью обоснования методики его расчета / С.А. Хорьков // Промышленная энергетика. – 2015. – № 10. – с.36-39.
2. Хорьков, С.А. Геометрическая модель техноценоза/ С.А. Хорьков//Промышленная энергетика. – 2011. – №1. – с. 24-27.
3. Мандельброт, Б. Фракталы, случай и финансы/Б. Мандельброт.– М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005.–255с.
4. Опойцев, В.И. Школа Опойцева: Теория вероятностей/В.И. Опойцев Учебное пособие. – М.: ЛЕНАНД. – 2018. – 280с.

5. Золотарев, В.М. Устойчивые законы и их применения/ В.М.Золотарев. – М.: Знание, 1984. – 64с.
6. Справочник по теории вероятностей и математической статистике /В.С. Королюк, Н.Н. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин.– М.: Наука. Глав. Ред. Физ.-мат. Лит., 1985.–640с.
7. Хайтун, С.Д. Эволюция и негауссовы распределения / С.Д. Хайтун: В.Н.: Философские основания технетики. Вып.19. «Ценологические исследования». – М.: Центр системных исследований, 2002. – С.536-545.
8. Чайковский, Ю.В. О природе случайности/ Ю.В. Чайковский, монография, вып.18 «Ценологические исследования». – М.: Центр системных исследований. – Институт истории естествознания и техники РАН, 2001. – 272 с.
9. Кудрин, Б. И. Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические *Н*-распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта / Б. И. Кудрин: В 99Н.: Философские основания технетики. Вып.19. «Ценологические исследования». – М.: Центр системных исследований, 2002. – С.357-412.
10. Севастьянов, Б.А. Курс теории вероятностей и математической статистики/ Б.А. Севастьянов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математическая литература, 1982.–256с.
11. Прохоров, Ю.В. Теория вероятностей / Ю.В. Прохоров. –М.: Наука, 1967. – 485с.
12. Хорьков, С.А. Проблема расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, модели и методики для её решения/ С.А. Хорьков. – Ижевск: Изд-воИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2019. – 128с.
13. Хорьков, С. А. О ручном и стихийном случае в модели техноценоза [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков // Управление техносферой. - 2019. - Т. 2, вып. 3. - С. 282-292. - Библиогр.: с. 289-290

9. МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И НАКОПЛЕНИЯ РЕСУРСА ТЕХНОЦЕНОЗА*

Аннотация. Предложена модель формирования иерархической структуры и накопления ресурса техноценоза. Установлено, что модель имеет структуру иерархических ветвящихся процессов, которая позволяет рассмотреть их в виде случайных процессов и накопления событий. Показано, что вероятность накопленного числа событий получают на основе распределения длительности временного интервала, состоящего из последовательного числа подъинтервалов между событиями на иерархическом дереве, а сумму распределений длительностей временного интервала получают на основе математического ожидания накопленного числа событий за этот интервал.

Ключевые слова: иерархическая структура, накопление ресурса, случайный ветвящийся процесс, техноценоз.

Разработка математических моделей сложных систем является чрезвычайно актуальной. Это связано с усложнением практически всех сфер нашей жизни и отсутствием общепризнанной математической теории таких систем. При ответе на жизненные вызовы следует использовать как традиционные, так и новые эффективные подходы к моделированию таких конструкций.

В [1, 2] предложена модель электропотребления многономенклатурного цеха

$$W_* \leftarrow W \rightarrow W^* \quad , \tag{1}$$

где W_*, W^* – ресурсная или энергетическая и иерархическая или сетевая проекция электропотребления цеха, соответственно; $\leftarrow, \rightarrow$ – знаки отображения. Там же приведена числовая форма модели, обоснованы степенное (гиперболическое) распределение ресурса, закон масштабирования модели и представлены её интерпретации в виде иерархического дерева, и в виде техноценоза. Модель (1) является статической моделью и не позволяет исследовать

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. Модель формирования иерархической структуры и накопления ресурса техноценоза [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков // Управление техносферой. –2019. –Т. 2, вып. 2. – С. 241-250.

динамические процессы накопления ресурса и формирования структуры техноценоза.

(Строгого определения техноценоза (ценоза) не существует. Однако можно выделить условия, при которых сообщество (уместно также употреблять термин «система») реальных или воображаемых элементов есть ценоз (техноценоз). Если система состоит из самоподобных элементов (в точности или приближенно совпадающих с частью самого себя), имеет иерархическую структуру, которая формируется и существует при получении (накоплении) материального, энергетического или информационного ресурса, а по отношению к внешнему миру выступает как эволюционирующее целое, то она есть ценоз. Перечисленные условия позволяют выделить в ценозе структуру и величину ресурса. На основе иерархической структуры ценоза легко получить гиперболическое распределение его элементов.[9])

В теоретическом и практическом смысле интересно и необходимо выяснить, как накапливается ресурс техноценоза и как формируется при этом иерархическая структура. Другими словами, научную ценность представляет исследование динамической модели техноценоза в виде:

$$W(i,t)\,, \tag{2}$$

где i ,t накопленное число событий и соответствующий ему интервал времени, начинающийся с первого события при t=0.

Известен подход к исследованию иерархических ветвящихся процессов, позволяющий рассмотреть их в виде случайных процессов накопления событий [3]. Он использован для моделирования процессов коммуникации в научном сообществе [4] и в построении математических основ теории социальных распределений и их практическом применении [5].

Такой подход обеспечивает получение вероятности накопленного числа событий через распределение длительности временного интервала, состоящего из последовательного числа подъинтервалов между событиями ветвления и накопления ресурса, а также определение математического ожидания числа событий за этот интервал. Этот подход целесообразно применить для исследования динамических свойств техноценоза.

Случайный ветвящийся процесс рассматривают с двух взаимно дополняющих друг друга точек зрения. При первом подходе рассматривают число, накопленных событий *N(i)* ко времени *t*. При втором подходе изучают распределение длительности интервала t_i, равного сумме его последовательных подъинтервалов τ_i между событиями i, начиная с первого события в момент времени *t=0,* т.е. рассматривают распределение длительности интервала, который состоит из подъинтервалов $\sum \tau_i = t_i$.

Эти два подхода связаны между собой [6].

Строго говоря, число событий *N(i)* до момента времени *t* меньше $N(i) < i$ тогда, когда сумма интервалов между событиями больше $t_i = \sum \tau_i > t$. Тогда на языке теории вероятностей можно написать

$$P(N(i) < i) = G(\sum \tau_i > t) = G(t_i > t). \tag{3}$$

Форма записи (3) означает, что функция распределения событий $P(N(i) < i)$ может быть выражена через распределение интервалов времени между событиями $G(t_i > t)$.

При числе событий $N(i)$ ко времени *t* больше $N(i) \geq i$ и $G(t_i \leq t)$ формально записывают

$$P(N(i) \geq i) = G(\sum \tau_i \leq t) = G(t_i \leq t). \tag{4}$$

Совместное рассмотрение выражений (3) и (4) позволяет получить равенство

$$\begin{aligned} &P(N(i) = i) = P(N(t) < i) - P(N(t) < i+1) = \\ &G(i,t) - G(i+1,t), \end{aligned} \tag{5}$$

Причем $G(i = 1, t = 0) = 1$.

Выражение (5) позволяет, через распределение длительности интервала $G(i,t)$, получить вероятность того, что произошло ровно *i* событий к моменту *t*; причем процесс ветвления начинается из одной точки.

Математическое ожидание числа событий *N(i)* на фиксированном интервале равно

$$M(N(i)) = \sum_{i}^{\infty} iP(N(i)) = \sum_{i=1}^{\infty} i(G(i,t) - G(i+1,t)) = \sum_{i=1}^{\infty} G(i,t) \tag{6}$$

Выражение (6) позволяет установить соотношение между числом накопленных событий *N(i)* и распределением длительности суммы подъинтервалов $G(i,t)$ между отдельными событиями.

Далее на основе [4] рассмотрим примеры моделирования процессов ветвления и накопления числа событий техноценоза.

Пример 1. Пусть процесс ветвления техноценоза начинается с одного элемента и на каждом этапе элемент превращается в два новых элемента и сам исчезает. В этом случае случайная величина имеет распределение вероятностей $\xi = (0,0,1,0)$, а её производящая функция имеет вид $F(s) = s^2$.

Фактически ξ не является случайной величиной, так как $P(\xi = 2) = 1$. При таком значении вероятности происходит процесс формирования детерминированного *2*-адического дерева[1]. Для него ось времени жестко связана с событиями ветвления.

На рис.1показана модель ветвящейся структуры генерации событий в виде *2*-адического дерева с 4 уровнями ветвления и соответствующая регистрируемая последовательность временных интервалов.

Для рассматриваемого процесса значение производящей функции $F_i(s)$ после *i*-ой итерации равно:

$$F_i(s) = F(F_{i-1}(s)) = F(F(...F(s)...)) = \left(...\left(\left(s^2\right)^2\right)^2...\right)^2 = (s^2)^i \tag{7}$$

Математическое ожидание числа элементов после *i*-ой итерации имеет экспоненциальный вид:

$$M(\xi) = \frac{\partial F(s)}{\partial s}\bigg|_{s=1} = 2^i \left(s^{2-1}\right)\Big|_{s=1} = 2^i = \exp(i \ln 2)\,. \tag{8}$$

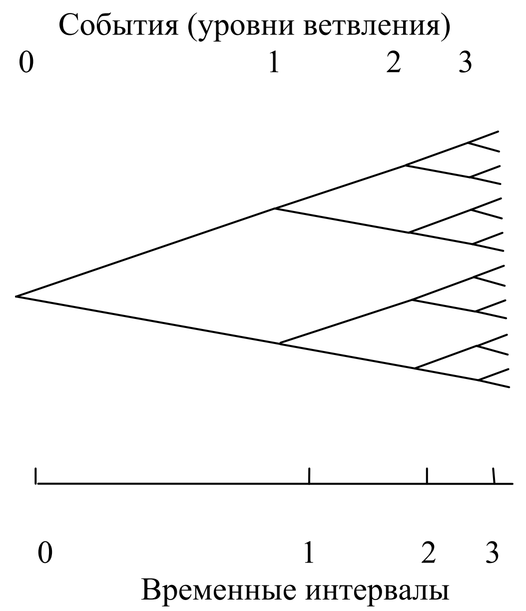


Рис. 1. Модель ветвящейся структуры генерации событий в виде 2-адического дерева с 4 уровнями ветвления (вверху) и регистрируемая последовательность временных интервалов (внизу)

Если на иерархическом дереве наблюдают последовательный процесс деления ресурса, то размер элемента после *i*-ой итерации также имеет экспоненциальный вид:

$$(M(\xi))^{-1} = 2^{-i} = \exp(-i \ln 2)\,. \tag{9}$$

Если в выражении (9) для размера элементов после *i*-ой итерации вместо «*i*» записать«ln*(i)*», то оно приобретает степенной (гиперболический) вид:

$$Exp(-(\ln(i))(\ln 2)) = i^{-\ln 2}. \tag{10}$$

Выражение (10) описывает распределение уровней ветвления *2*-адического дерева. Скорость ветвления этого дерева равна ln2.

Пример 2. Для ветвящегося процесса чистого размножения Юла распределение вероятностей случайной величины $\xi = (0, p_1, p_2, 0)$, а её производящая функция $F(s) = p_1 s + p_2 s^2$.

Процесс ветвления начинается с одного элемента. После каждой итерации элемент либо остаётся неизменным с вероятностью p_1, либо превращается в два новых элемента с вероятностью p_2.

Математическое ожидание числа элементов после одной итерации равно:

$$M(\xi) = \frac{\partial F(s)}{\partial s}_{|s=1} = \frac{\partial (p_1 s + p_2 s^2)}{\partial s}_{|s=1} = . \tag{11}$$

$$p_1 + 2p_2 s = m$$

В [7] показано, что если $m>1$, то процесс происходит со средним увеличением числа рождающихся элементов, а если $m \le 1$, то вероятность вырождения случайного процесса ветвления равна 1.

Для целочисленного ветвящегося процесса Юла с интервалами между событиями $(\tau_i = t_i - t_{i-1})$ и показательным распределением длительностей каждого интервала $G(\tau_i < t) = 1 - \exp(-\lambda it)$,начинающегося с первого события в момент t=0, вероятность того, что произошло ровно i событий к моменту времениt, выражают в виде:

$$P(N(i) = i) = G(i,t) - G(i+1,t) = \tag{12}$$

$$\sum_{k=1}^{i-1} (-1)^{k-1} C_{i-1}^{k} (1 - \exp(-\lambda kt)) - \sum_{k=1}^{i} (-1)^{k-1} C_{i-1}^{k} (1 - \exp(-\lambda kt)) =$$

$$\exp(-\lambda t)(1 - \exp(-\lambda t))^{i-1}.$$

При этом среднее время между последовательными событиями монотонно уменьшается и обратно пропорционально интенсивности процесса λ и порядковому номеру подъинтервала i

$$T_i = \int_0^t \tau G(i,\tau) = (\lambda i)^{-1}. \tag{13}$$

Математическое ожидание накопленного числа событий *N(i)* имеет экспоненциальный вид:

$$M(N(i))=\sum_{i=1}^{\infty} iP(N(i))=\sum_{i=1}^{\infty} i(G(i,t)-G(i+1,t))= \tag{14}$$

$$\sum_{i=1}^{\infty} G(i,t)=\sum_{i=1}^{\infty}\left(\sum_{k=1}^{i-1}(-1)^{k-1}C_{i-1}^{k}(1-\exp(-\lambda kt))\right)=\exp(\lambda t).$$

При последовательном делении ресурса размер элементов на уровне ветвления определяют по экспоненциальному выражению:

$$(M(N(i)))^{-1}=\exp(-\lambda t). \tag{15}$$

Если в выражении для размера элементов на уровне ветвления вместо «*t*» записать «ln*(t)*», то оно приобретает степенной (гиперболический) вид:

$$Exp(-\lambda(\ln(t)))=t^{-\lambda}. \tag{16}$$

Выражение(16) описывает распределение уровней ветвящегося дерева чистого размножения Юла. При этом скорость ветвления дерева равна интенсивности процесса λ.

Выводы:

1. Модель формирования иерархической структуры и накопления ресурса техноценоза имеет структуру аналогичную структуре модели иерархических ветвящихся процессов, которая позволяет рассмотреть её в виде детерминированного или случайного процесса накопления событий.

2. Вероятность накопленного числа событий на иерархическом дереве получают на основе распределения длительности временного интервала, состоящего из последовательного числа подъинтервалов между событиями.

3. Критерием достоверности приведенной теории являются установленные положения теории вероятности и полученные экспоненциальные и гиперболические распределения реальных техноценозов [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорьков, С.А. Числовая модель электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия /С.А. Хорьков //Промышленная энергетика. – 2018. – №5. – с.2-7.
2. Хорьков, С.А. Об использовании числовой модели техноценоза для расчёта месячного электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия / С.А. Хорьков // Промышленная энергетика. – 2018. – №7. – с. 47-50.
3. Севастьянов, Б.А. Курс теории вероятностей и математической статистики/ Б.А. Севастьянов. –М.: Наука. Главная редакция физико-математическая литература, 1982.–256с.
4. Иванов, С.А. Моделирование процессов коммуникации в научном сообществе: устойчивые статистические распределения в коммуникационных системах/ С.А Иванов. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. –120с.
5. Иванов, С.А. Математические основы теории социальных распределений и их практическое применение/ С.А Иванов, В.С. Куликов, изд. стереотип. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. –104с.
6. Прохоров, Ю.В. Теория вероятностей/ Ю.В. Прохоров. –М.: Наука, 1967. –485с.
7. Колмогоров, А.Н. Введение в теорию вероятностей/А.Н. Колмогоров, И.Г. Журбенко, А.В. Прохоров А.В. – М.: Наука, 1995. –176с.
8. Кудрин, Б.И. Ценологическое определение параметров электропотребления многономенклатурных производств/ Б.И. Кудрин, Б.В.Жилин, О. Е. Лагуткин, М.Г. Ошурков.– Тула: Приок.кн. изд-во, 1994. – 122с.
9. Хорьков, С. А. Проблема расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, модели и методики для ее решения : монография / С. А. Хорьков ; рецензент: В. К. Барсуков, В. П. Иванников, А. А. Липаев [и др.]. – Ижевск : ИжГТУ им. М. Т. Калашникова, 2019. – 124 с.

10. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЦЕНОЗА*

Аннотация. Показано, что модель техноценоза аналогична модели гиперболической геометрии Лобачевского. Она имеет абсолют и группу преобразований, позволяющую получить инвариант преобразования в виде метрики Кэли-Клейна. На основе геометрической модели техноценоза можно исследовать не только преобразование и инвариант аналогичный модели геометрии Лобачевского, но и – преобразования подобные преобразованиям, имеющим гипреболические инварианты (гиперболические распределения), из других разделов математики. Отмечено, что примерами таких преобразований являются методы построения гиперболоидов и их проекций, методы вариационной оптимизации, методы фрактальной геометрии, преобразования гиперболических групп.

Ключевые слова: техноценоз, гиперболическая геометрия, математическая модель, абсолют, группа преобразований.

Введение концепции и понятия «техноценоз» [1,2] позволило рассматривать энергетическое хозяйство промышленного предприятия как единое целое, функционирующее по определенным законам. На основе техноценологических закономерностей (необходимых связей) и инвариантов структуры возможно (и следует) проектировать и строить энергетические объекты, эксплуатировать и ремонтировать энергетическое оборудование, управлять режимами энергопотребления и энергетическим хозяйством в целом.

В [3] приведено определение техноценоза: «**Техноценоз** – сообщество изделий конвенционально определенного объекта, включающее популяции всех видов выделенного семейства; множество образующих целостность элементов-изделий, характеризующееся слабыми связями и слабыми взаимодействиями относительно друг друга: система техногенного происхождения, рассматриваемая как сообщество классифицируемых по видам единиц техники, технологии, материала, продукции, отходов и выделяемая административно-территориально для целей инвестиционного проектирования, построения (со-

---

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. Геометрическая модель техноценоза / С. А. Хорьков // Промышленная энергетика. - 2011. - № 1. – С. 24-27.

оружение, монтаж, наладка), обеспечения функционирования (эксплуатация, ремонт), управления (менеджмент). Гносеологически такое определение позволяет опереться на ценологический подход естествознания и математический аппарат негауссовых гиперболических Н-распределений для исследования систем (объектов) типа: цех, производство, предприятие (организация) или отдельное его хозяйство, отрасль, мировое производство продукта (сталь, нефть, зерно); село, район, город, область, регион, страна, сообщество государств или общемировых движений. Исследование технического ценоза – исследование целостности, которая структурируется и характеризуется устойчивыми параметрами». Практика использования понятия приведена в [4, 5].

В определении и концепции техноценоза применены непривычные термины и аналогии, они трудны для восприятия инженерами-практиками и подвержены критике [6]. Ее содержательная часть направлена на «слабые связи» (поскольку под контролем инженера находятся элементы, характеризующиеся «сильными связями») и на само понятие «техноценоз» (который есть промышленное предприятие и поэтому потребность в новом имени отсутствует»).

Если рассматривать техноценоз как модель промышленного предприятия, то критические замечания должны сниматься. Из приведенного определения и пояснения роли гиперболического распределения (*H*-распределения) следует что техноценоз – это модель системы техногенного происхождения, включающая в четко зафиксированных границах множество слабовзаимодействующих элементов, распределенных по гиперболе. Подход к техноценозу как к модели возможен потому, что в его определении включено ранговое гиперболическое распределение элементов, которое нельзя наблюдать экспериментально, но без которого невозможно представить техноценоз. Ранговое распределение строят по определенным правилам [7].

Геометрической моделью техноценоза может являться модель гиперболической геометрии Лобачевского Такая точка зрения позволяет продвинуться в понимании природы и сущности техноценоза, сформулировать необходимые признаки и условия его существования. Важно понять, в чем заключается специфика техноценологического подхода к большим системам, объяснить, почему к техноценозу явно неприменима привычная статистика нормального распределения (распределения Гаусса), получить ряд следствий из модели, претендующих на роль законов техноценоза. Многие из перечисленных задач уже нашли ответы в работах Б. И. Кудрина.

Отличие представленного подхода заключается в разработке специальной модели, позволяющей сформулировать условия формирования техноценоза При этом модель не претендует на исследование динамики техноценоза. Геометрическая модель позволяет получить его инвариант – гиперболическое распределение элементов, но она не позволяет предсказать возможное местоположение отдельных элементов на этом распределении.

В качестве прототипа геометрической модели техноценоза примем модель Кэли-Клейна (или модель Бельтрами) [8], являющуюся моделью геометрии Лобачевского. В геометрии эта модель рассматривается прежде как средство доказательства непротиворечивости геометрии Лобачевского. Модель Кэли - Клейна включает кривую второго порядка (абсолют по Кэли), множество элементов внутри абсолюта и метрику Кэли- Клейна. Пространство ограничено абсолютом и включает прямые, отрезки, лучи, полуплоскости, углы и т.п. Элементы, находящиеся за пределами абсолюта, во внимание не принимаются. Метрика Кэли- Клейна, выраженная через логарифм двойного отношения, является инвариантом преобразований геометрии Лобачевского. Набор преобразований должен быть группой.

В модели Кэли-Клейна – это группа проективных преобразований. Группа преобразований означает, что любые два её действия-преобразования, произведенные одно за другим, можно заменить их объединением - одним действием, а для любого прямого преобразования существует обратное. На множестве преобразований роль единицы выполняет тождественное преобразование. С каждой группой преобразований связана своя геометрия. Если какой-то объект геометрии обладает инвариантным свойством, то каким бы допустимым здесь преобразованием на него ни действовать, получится объект, также обладающий этим свойством. Прямая задача геометрии связана с поиском преобразований, сохраняющих инварианты определенного типа. В обратной задаче нужно определить, какие свойства внутренних элементов не изменяются под действием данной группы. На модели Кэли-Клейна выполняются аксиомы геометрии Лобачевского и не выполняется аксиома параллельности из евклидовой геометрии. Поэтому наглядную модель Кэли-Клейна можно рассматривать в качестве интерпретации геометрии Лобачевского. Кроме того, это отличный от аксиоматического наглядный способ изложения материала.

Построим геометрическую модель техноценоза. Абсолютом назовем его границы. Пространство, зафиксированное абсолютом, имеет фрактальную (дробную) размерность [7]. Элементы техноценоза (множество изделий, видов оборудования) должны иметь четко фиксируемый признак и систему отсчета, на основе которой выполняют их сравнение и упорядочение. Элементы техноценоза самоподобны. Упорядоченное распределение элементов аппроксимируют степенной зависимостью, в частном случае –гиперболой, график логарифма которой есть прямая линия. Между рассматриваемыми элементами действуют слабые связи. Для потребителей электроэнергии это связи, не потребляют и не аккумулируют энергию. В общем случае слабая связь является семантическим (смысловым) понятием. Семантика слабых связей определена целым (абсолютом). В его границы включают только те элементы, между которыми существует эта смысловая связь. Техноценозы могут включать приемники электроэнергии цеха, производства, завода, региона, страны – и это будут разные техноценозы.

Существует еще одна содержательная интерпретация слабой связи: она – суть естественное взаимодействие «конкурирующих» элементов техноценоза [9]. Сильные связи – это связи, деформирующие «естественное» распределение элементов внутри абсолюта. Примерами сильных связей являются связи , возникшие на основании предписания введения одного типоразмера трансформатора на крупном промышленном предприятии или – требования соблюдения жесткого графика нагрузок без учета реальной потребности в энергоресурсе. Инвариантом «естественного» техноценоза являются степенные (гиперболические) распределения его элементов. Такое распределение возникает при «естественной» конкуренции элементов техноценоза.

Таким образом, геометрическая модель техноценоза имеет структуру, аналогичную модели Кэли-Клейна.Другими словами, геометрическая модель техноценоза – аналог модели геометрии Лобачевского.

Рассмотрим несколько групп преобразований, позволяющих получать в рамках геометрической модели инвариант техноценоза - гиперболическое (степенное) ранговое распределение. Инварианты модели техноценоза получают ранжированием и аппроксимацией исходных данных. Кроме того, их можно получить с помощью методов проективной геометрии, вариационной оптимизации, фрактальной геометрии, гиперболических групп.

Наличные данные ранжируют по избранному признаку (параметру) с последующей аппроксимацией ряда степенной функцией (гиперболой). Операция выделения абсолюта и элементов происходит естественно и, как правило, не замечается исследователем. Получить ранговое распределение непосредственно из эксперимента нельзя. Сначала получают экспериментальные или расчетные данные, затем их ранжируют, т. е. располагают на шкале в порядке убывания значений параметра и возрастания рангов. Сведения об основных направлениях ранговых исследований и их применении в промышленной энергетике приведены в [3]

Первая группа преобразований связана с получением однополостного гиперболоида с помощью движущейся прямой, опирающейся на три прямые общего положения. Задача построения гиперболоида решается средствами проективной геометрии [10, 11]. Гиперболическую структурно устойчивую модель техноценоза получают в виде проекции однополостного гиперболоида и/или его сечений в ортогональных осях на плоскость, проходящую через мнимую ось. Три образующие гиперболоида можно интерпретировать в виде шкал источника, потребителя ресурса и рангов, а поверхность гиперболоида в этом случае – как поверхность энергоресурса.

Вторая группа преобразований является способом вариационной оптимизации электропотребления [7, 12]. Прямая задача включает выражения для максимизируемого «энтропиеобразного» критерия – функционала, балансового ограничения по ресурсу (энергии) и нормирующего ограничения. Решение прямой вариационной задачи методом неопределенных множителей Лагранжа дает сначала экспоненту, затем, при замене аргумента на его логарифм, гиперболу распределения потребителения ресурса. Двойственная задача минимизирует потребляемый в техноценозе ресурс.

Третья группа преобразований связана с построением гиперболических инвариантов средствами фрактальной геометрии [11]. Ее теория базируется на свойстве самоподобия элементов множества. Это означает, что внутренние элементы техноценоза подобны друг другу и тому целому, частями которого они являются. Свойство точного самоподобия характерно лишь для идеальных фракталов. Для случайных фракталов самоподобие справедливо только после усреднения их по всем статистически независимым реализациям объекта. В рассматриваемом случае отдельные нагрузочные диаграммы электрооборудования цеха подобны друг другу и интегральной нагрузочной диаграмме всего цеха, полученной по приборам учета электрической энергии. Следствием самоподобия является возможность описания ряда ранжированных элементов техноценоза гиперболической (степенной) функцией.

Четвертая группа преобразований – есть способ построения гиперболических инвариантов средствами гиперболических групп [10]. Эти группы имеют геометрическую и алгебраическую интерпретацию. Гиперболические групповые свойства системы электропотребления позволяют получить гиперболический инвариант структуры техноценоза. Через алгебраическое определение гиперболической группы может быть найдена устойчивая структура электропотребления, имеющая минимальную площадь графика.

Все перечисленные способы обеспечивают в рамках абсолюта нахождение гиперболического (степенного) распределения элементов.

Приведем ряд следствий, полученных в результате анализа функционирования геометрической модели техноценоза. Логическое отрицание некоторых из них может рассматриваться как ценологический запрет.

1. Элементы техноценоза ограничены абсолютом. Они самоподобны. Постранство техноценоза имеет фрактальную размерность

2. Элементы модели техноценоза обладают четко фиксируемым признаком, на основе которого их сравнивают и упорядочивают.

3. Между элементами техноценоза действуют слабые свзязи, имеющие семантическую (смысловую) природу. Семантика слабых связей определена целым (абсолютом). Слабая связь может быть так же интерпретирована «конкурирующим» взаимодействием элементов техноценоза. Сильные связи деформируют инвариант техноценоза и приводят к нарушению его структурной устойчивости.

4. Гиперболическое распределение элементов техноценоза структурно устойчиво. Устойчива форма гиперболического рангового распределения, а не положение элементов на ней.

5. Геометричесая модель ценоза является аналогом модели геометрии Лобачевского. Мир техноценоза – это мир гиперболической геометрии. Распределение Парето, Лотки, Виллиса, Брэдфорда, Ципфа, Хольцмарка, Мандельброта можно рассматривать как инварианты этой модели.

6. Модели техноценоза соответствует статистика устойчивых гиперболических распределений и она не подчиняется статистике Гаусса. Инвариант техноценоза (гипербола) несовместим с математическим ожиданием нормального распределения, геометрический образ которого есть точка.

Таким образом, разработка геометрической модели техноценоза и установление связи между нею и моделью геометрии Лобачевского позволяют в рамках единого модельного подхода существенно продвинуться в понимании природы техноценозов и производственных систем, а также объяснить происхождение их инвариантов и определить перспективу для прогноза и управления такими естественными образованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин, Б. И. Исследование технических систем как сообществ техноценозов. – В кн. Системные исследовании, Методологические проблемы. – М.: Наука, 1981. – С.236-254.
2. Кудрин, Б. И. Применение понятий биологии для описания и прогнозирования больших систем, формирующихся технологически. – В кн.: Электрификация металлургических предприятий Сибири. Вып. 3. – Томск: Изд-во ТГУ, 1976. – С.171-204.
3. Кудрин, Б. И. Математика ценозов: видовое, ранговое, ранговое по параметру гиперболические Н-распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта. – В кн.: Философские основания техники. Вып. 19. Ценологические исследования. М: Центр системных исследований, 2002. – С. 357 – 412
4. Фуфаев, В. В. Ценологическое определение параметров электропотребления, надежности, монтажа и ремонта электрооборудования предприятий региона. – М: Центр системных исследований, 2000. – 320с
5. Гнатюк, В. И. Закон оптимального построения техноценозов. Вып.29. Ценологические исследования. – М.: Изд-во ТГУ – Центр системных исследований, 2014. –518с.
6. Якимов, А. Е. О техноценозах-невидимках и метафизике «технетики». – Философские науки, 2001, № 1. – 131-140с.
7. Хорьков, С. А. О показателе степенного рангового распределения электропотребления многономенклатурного производства. – Промышленная энергетика, 2009, №4. – С.30-31.
8. Комацу, М. Многообразие геометрии / Пер. с японского. – М.: Знание, 1981. – 210 с.
9. Трубников, Б. А. Конкуренция в природе и обществе. – Природа, 1993, №11. – С.3-13.
10. Хорьков, С. А. Гиперболичность и структурная устойчивость модели рангового распределения электропотребления промышленного предприятия. – Промышленная энергетика, 2010, №2. – С.28-33.
11. Хорьков, С. А. Геометрический подход к обоснованию степенного рангового распределения в электрике [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков // Электрика. - 2009. - № 3. – С. 46-48.
12. Хорьков, С. А. Методики составления баланса и расчета рангового распределения норм электропотребления многономенклатурного производства / С. А. Хорьков // Промышленная энергетика. - 2007. - № 10. – С. 23-27.

11. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ЦЕХА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ*

Аннотация. Ошибка в расчете месячного электропотребления многономенклатурного цеха по расчетным составляющим возникает из-за того, что пространство электропотребления по умолчанию, принимают евклидовым с евклидовой метрикой, в то время как оно имеет метрику модели пространства Лобачевского. Модель электропотребления многономенклатурного цеха в виде элементарного топоса позволяет установить закон масштабирования между расчетной по евклидовой метрике величиной месячного электропотребления и величиной электропотребления по приборам учета и принять в качестве коэффициента подобия между ними показатель степени этой связи. Методика расчета месячного электропотребления многономенклатурного цеха включает расчет суммы составляющих по евклидовой метрике и расчет коэффициента подобия, определяемого по известному расчетному и соответствующему приборному электропотреблению цеха за предыдущий период, и на этой основе – прогнозное значение электропотребления.

Ключевые слова: методика расчета электропотребления, м ногономенклатурный цех промышленного предприятия, гиперболическая структура, топос, закон масштабирования.

Методика расчета месячного электропотребления многономенклатурного цеха включает расчет технологических и вспомогательных составляющих, а также расчет потерь в сети электроснабжения цеха. Расчет составляющих электропотребления производят на основании установленной мощности электроприёмника, коэффициента её использования, времени выполнения операции и количества производимой продукции или количества производимых операций [2]. Другими словами, усредненное значение мощности электроприёмника во времени есть расчетная энергия, которая с геометрической точ-

---

*Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. Исследование структуры электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия с целью обоснования методики его расчета [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков // Промышленная энергетика. - 2015. - № 10. - С. 36-39.

ки – зрения эквивалентна площади его расчетной по евклидовой метрике нагрузочной диаграммы. Сумма всех составляющих дает расчетное месячное электропотребление многономенклатурного цеха. Для автоматизации расчета электропотребления создают базу данных электрооборудования многономенклатурного цеха [2].

При расчете по указанной методике возникает проблема. Сумма расчетных частей месячного электропотребления многономенклатурного цеха стабильно (всегда) превышает электропотребление по приборам учета, установленным на границе цеха, т.е. $W = \sum_{j=1}^{n} W_j$, $W > V$, где W, V – расчетное и фактическое (приборное) месячное электропотребления, соответственно. При этом ранжированный (упорядоченный по убыванию) ряд составляющих электропотребления имеет гиперболическое (степенное) распределение $W(i) = W_1 \cdot i^{-\alpha}$, где W_1 – константа электропотребления, i – ранг, α – показатель степени гиперболического (степенного) распределения [1, 2].

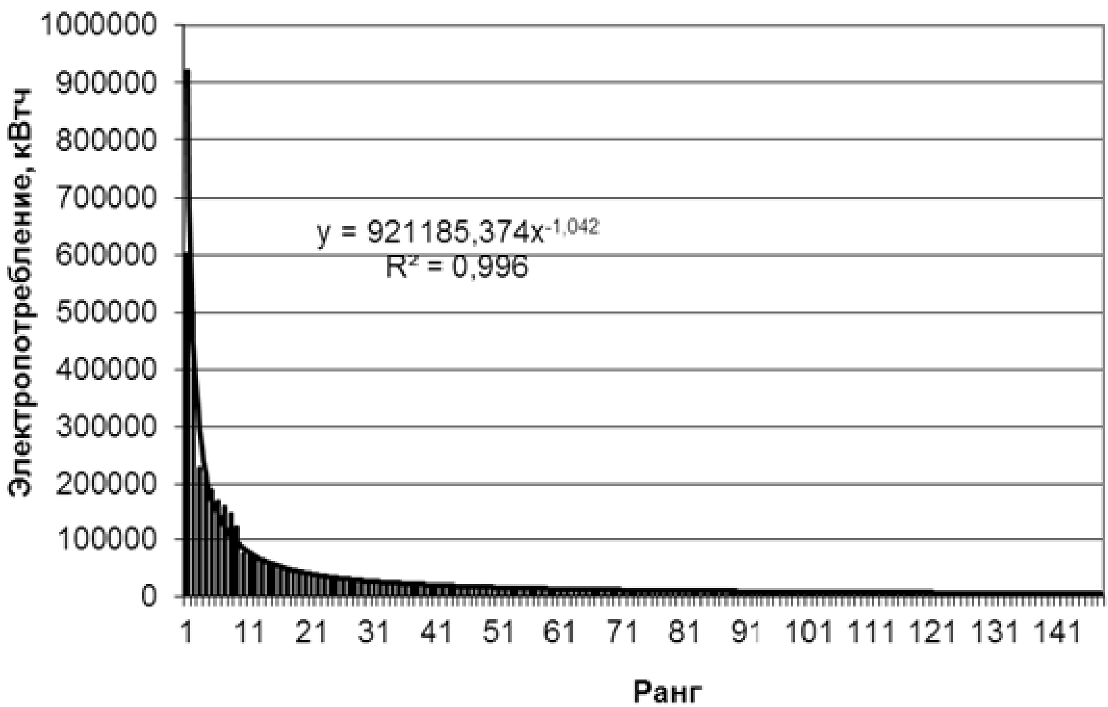


Рис. 1

Уточнение расчетных частей в рамках традиционной методики не устраняет указанного неравенства [2]. Пример ранжированного ряда составляющих электропотребления многономенклатурного цеха и его аппроксимация графиком степенной функции (гиперболой) представлены на Рис.1.

Если предположить, что геометрические образы электропотребления многономенклатурного цеха: граница площади электропотребления и гипербола – линия распределения составляющих электропотребления есть сечения двуполостного гиперболоида [3], [4], то выше сформулированная проблема будет снята. Другими словами, проблема будет решена, если образы электропотребления многономенклатурного цеха, полученные на основе экспериментальных данных (окружность и гипербола), могут быть без противоречия воплощены в одном объекте – поверхности электропотребления (гиперболоиде).

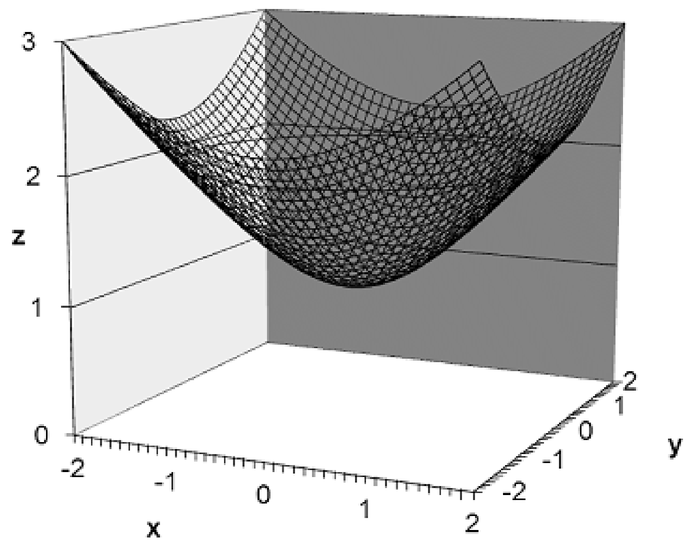


Рис.2,а

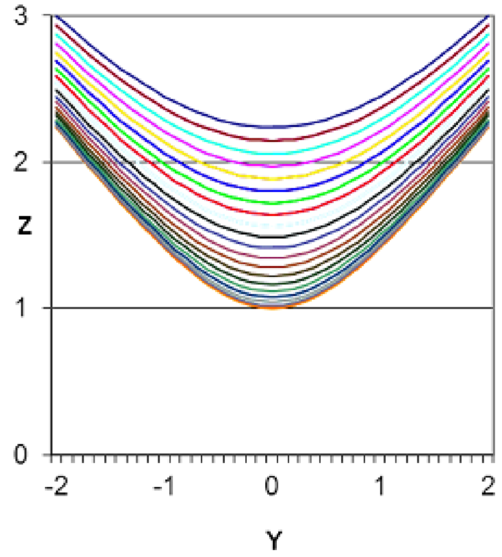


Рис.2,б

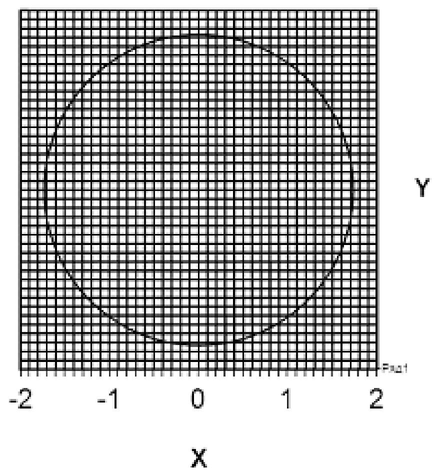


Рис.2,в

На рис. 2,а показана верхняя часть двуполостного гиперболоида симметричного относительно плоскости XY; на рис.2,б – сечения верхней части этого гиперболоида секущими плоскостями ZY при различных значениях X; на рис.2,в – сечения верхней части двуполостного гиперболоида секущей плоскостью XY при Z=2.

Из рисунков видно, что расчетное пространство электропотребления представляют поверхностью гиперболоида, ранжированные ряды его составляющих – сечениями в виде гипербол, а приборное значение электропотребления соответствует площади, ограниченной сечением – окружностью. Поскольку поверхность гиперболоида проецируют в круг на евклидову плоскость, то метрика на поверхности гиперболоида индуцирует метрику внутри этого круга, т.е. – метрику модели пространства Лобачевского [3], [4].

Из геометрической интерпретации электропотребления многономенклатурного цеха [5], [6] следуют два пути решения проблемы. Первый путь связан с расчетом составляющих электропотребления на пространстве Лобачевского или на его модели. Однако неизвестной является методика расчета электропотребления составляющих для этих случаев. Главная трудность связана с правильным выбором метрики, применяемой для расчета составляющих электропотребления. Нерешенной остается и проблема их проверки.

Перспективность второго пути связана с тем, что известную методику расчета составляющих электропотребления дополняют нахождением коэффициента подобия между расчетной и фактической величиной электропотребления. При этом исходят из структурной устойчивости электропотребления многономенклатурного цеха [5].

Модель для исследования связи между величинами электропотребления W и V, имеющими гиперболическую структуру, разрабатывают на основе теории категорий [7]. Объектом новой категории является метрическое пространство электропотребления, а морфизмом (отображением) – сжатие этого пространства. Поскольку гиперболическая структура электропотребления цеха включает элементы (подмножества или подобъекты в категории множеств) и связи между ними, то в качестве модели следует принять элементарный топос – категорию конечно полную, с классификатором подобъектов, декартово замкнутую [7]. Элементарный топос имеет вид: $V \xrightarrow{f} W$, $1 \xrightarrow{T} \Omega$, $V \xrightarrow{!} 1$, $W \xrightarrow{\chi_f} \Omega$, где V, W – фактическое и расчетное пространство месячного электропотребления многономенклатурного цеха, соответственно; 1 и Ω – конечный объект и классификатор подобъектов, соответственно. Знаки $f, T, !, \chi_f$ обозначают соответственно – исходную стрелку, стрелку «истина», единственную стрелку, характеристическую стрелку [7].

Из декартовой замкнутости элементарного топоса следует существование изоморфизма $v \times c \to w \cong v \to w^c$, где $v \in V, w \in W$, c– показатель степени, $v \times c$– декартово произведение; другими словами, из изоморфизма видно, что топос содержит экспоненты [7]. Тогда существует степенная связь (закон масштабирования) расчетного по евклидовой метрике и фактического (приборного) месячного электропотребления многономенклатурного цеха в виде $V = W^C$.

Коэффициент подобия является инвариантом гиперболических распределений, имеющих показатель степени α, его определяют по расчетному и соответствующему фактическому (приборному) электропотреблению за предыдущие периоды времени (месяцы). Расчет коэффициента подобия производят по выражению $d(\alpha) = 1/C(\alpha) = \ln W(\alpha)/\ln V(\alpha)$ [2].

Результаты исследования структуры электропотребления многономенклатурного цеха позволяют обосновать методику расчета месячного электропотребления цеха. Сначала получают сумму расчетных составляющих электропотребления, в декартовых координатах $W(\alpha)$, и коэффициент подобия, определенный априори по расчетному и соответствующему приборному электропотреблению цеха $d(\alpha)$, а затем – прогнозное значение электропотребления $V(\alpha) = W(\alpha)^{\frac{1}{d(\alpha)}}$.

Пример: Расчетному месячному электропотреблению многономенклатурного цеха $W(1{,}042) =$ 4490000 кВтч и коэффициенту подобия $d(1{,}042) = 1{,}030$ соответствует прогнозное электропотребление $V(1{,}042) = 2874032$ кВтч. Ошибка – 0,001 при определении коэффициента подобия приводит к ошибке прогнозного электропотребления –1,46%, а ошибка +0,001 приводит к ошибке +1,43%.

Выводы

1. Ошибка в расчете электропотребления многономенклатурного цеха по расчетным составляющим возникает из-за того, что пространство электропотребления по умолчанию, принимают евклидовым с евклидовой метрикой, в то время как оно имеет метрику модели пространства Лобачевского.
2. Модель электропотребления многономенклатурного цеха в виде элементарного топоса позволяет установить закон масштабирования между расчетной по евклидовой метрике величиной месячного электропотребления и величиной электропотребления по приборам учета и принять в качестве коэффициента подобия между ними показатель степени этой связи.

3. Методика расчета месячного электропотребления многономенклатурного цеха включает расчет суммы составляющих по евклидовой метрике и расчет коэффициента подобия, определяемого по известному расчетному и соответствующему приборному электропотреблению цеха за предыдущий период, и на этой основе – прогнозное значение электропотребления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин, Б. И. Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические Н-распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта. В кн.: Философские основания технетики. Вып.19. "Ценологические исследования". – М.: Центр системных исследований, 2002. – С. 357 – 412.
2. Хорьков С.А. Методики составления баланса и расчета рангового распределения норм электропотребления многономенклатурного производства. – Промышленная энергетика. 2007, №10. – С. 23-27.
3. Мищенко А.С.Курс дифференциальной геометрии и топологии/А.С Мищенко, А.Т. Фоменко. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. –502с.
4. Хорьков, С. А. Геометрический подход к обоснованию степенного рангового распределения в электрике [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков // Электрика. - 2009. - № 3. - С. 46-48.
5. Хорьков, С. А. Гиперболичность и структурная устойчивость модели рангового распределения электропотребления промышленного предприятия / С. А. Хорьков // Промышленная энергетика. – 2010. – № 2. – С. 28-33.
6. Хорьков, С. А. Геометрическая модель техноценоза / С. А. Хорьков // Промышленная энергетика. - 2011. - № 1. - С. 24-27.
7. Маклейн С. Категории для работающего математика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 352с.

12. ПРОБЛЕМА ПОЭЛЕМЕНТНОГО РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ЦЕХА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЁ РЕШЕНИЯ*

Аннотация. Сформулирована проблема поэлементного расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия и основные результаты её решения. К основным результатам решения проблемы поэлементного расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия отнесены: 1) запись проблемы как математической задачи; 2) числовая, геометрическая, групповая, фрактальная модели электропотребления; 3) методы оценки структурной и статистической устойчивости модели; 4) законы масштабирования для величин электропотребления; 5) методики расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия. Отмечено, что основные результаты решения проблемы поэлементного расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия имеют отношение к техноценологическому направлению науки об электрическом хозяйстве потребителей электротехнической продукции и электрической энергии и мощности.

Ключевые слова: проблема поэлементного расчета электропотребления, многономенклатурный цех промышленного предприятия, числовая асимметрия, *p*-адические числа, закон масштабирования.

В [1] сформулирована проблема поэлементного расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия (ЭМЦПП) и представлен геометрический подход к её решению, в [2] уточнено понятие числовой модели ЭМЦПП, раскрыто содержание её двойного нормирования и приведены новые интерпретации модели, связанные с иерархической структурой распределения электрической энергии в многономенклатурном цехе. Приведем и дополним основные результаты [1,2], и покажем основные выра-

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. Проблема поэлементного расчета электропотребления сногономенклатурного цеха промышленного предприятия и основные результаты её решения [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков // Фёдоровские чтения 2018 : XLVIII Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк., Москва 14-16 нояб. 2018 г. / М-во науки и ВО РФ, Национ. исслед. ун-т "МЭИ" ; под общ. ред.: Б. И. Кудрина, Ю. В. Матюниной.– Москва : Издат. дом МЭИ, 2018.– С. 42-51

жения (и/или источники их публикации), полученные при решении проблемы расчета ЭМЦПП.

Поэлементный расчет ЭМЦПП осуществляют на основе разработанной базы данных (БД). Электропотребление каждого элемента рассчитывают через установленную мощность, коэффициент загрузки и время работы агрегата. Результаты поэлементного расчёта [1,2] получают в виде:

$$W = \sum_{j=1}^{n} W_j \tag{1}$$

где W ,W_j – расчётное месячное электропотребление и его составляющая, соответственно;

$$W(i) = W_1 \cdot i^{-\alpha} \tag{2}$$

где W_1 – константа электропотребления, i – ранг, α – показатель степени гиперболического (степенного) распределения.

Проблема расчёта заключается в том, что расчётное электропотребление через его составляющие всегда превышает потребление, полученное по приборам учета за тот же период времени

$$W > V, \tag{3}$$

где W, V – расчётное и приборное месячное электропотребления, соответственно.

Проблема создаёт препятствие для разработки методики расчета ЭМЦПП [2]. Возможными причинами возникновения проблемы являются: 1) ошибки при формировании БД, используемой при расчёте электропотребления; 2) неправильность применяемых метрик пространства электропотребления; 3) отсутствие учета связей между потребителями электрической энергии. Причем балансовое выражение электропотребления (1) зависит главным образом от причин, отмеченных цифрами 1 и 2, а степенное (гиперболическое) выражение (2) от причин – 3.

Из выражения (1) следует, что ЭМЦПП складывают из частей, т.е. оно аддитивно и конечно. Выражение для степенной функции (гиперболы) электропотребления (2) мультипликативно и не имеет естественной границы. При этом возникает противоречие между полученными результатами. Одно выражение для ЭМЦПП (1) конечно, а другое – (2) может быть ограничено лишь искусственным путём.

Разрешить указанное противоречие позволяет двойственная модель ЭМЦПП. В символьной форме записи модель имеет вид:

$$W_* \leftarrow W \rightarrow W^* \tag{4}$$

где W_*, W^* – ресурсный или энергетический и иерархический или сетевой образ (сечение) ЭМЦПП, соответственно; $\leftarrow, \rightarrow$ – знаки отображения.

Следует также предположить, что если две величины ЭМЦПП W и V связаны через инвариант иерархической сети, то они связаны законом масштабирования

$$V = f(W, I) \tag{5}$$

где I- инвариант сети ЭМЦПП.

Числовая форма модели (4) имеет вид:

$$R \leftarrow Q \rightarrow Z_p \tag{6}$$

где Q, R, Z_p – поле рациональных, вещественных и целых p-адических чисел.

Естественность двойного нормирования числовой модели ЭМЦПП позволяет записать любое значение его ресурса, представленное рациональным числом, через сопряженные метрики:

$$|y|_\infty |x|_p^d = c, c \in Q \tag{7}$$

где $|y|_\infty$ и $|x|_p^d$ – метрика на поле вещественных чисел и метрика на поле p -адических чисел; d – размерность сети, распределяющей ресурс.

Из выражения (7) получают степенное выражение связи метрик в виде функции:

$$|y|_\infty = c|x|_p^{-d} \tag{8}$$

Размерность сети, распределяющей ресурс, существенно влияет на вид степенной функции (8) и соответствующего ей графика (при *d=1* имеют гиперболу).

Если записать выражение (7) при условии $d = (\ln c|y|_{\infty}^{-1})\,(\ln|x|)^{-1} = \mathrm{const}$ в виде:

$$|x|_p^d = c|y|_{\infty}^{-1} \tag{9}$$

то получаем форму для закона масштабирования двух величин, распределенных в сети ЭМЦПП [2].

Алгебраическая форма геометрическая модели ЭМЦПП [3,4] через нормированное выражение гиперболоида и его сечений в форме аналогичной выражению (4) имеет вид:

$$x^2 + y^2 = 1 \leftarrow x^2 + y^2 - z^2 = 1 \rightarrow y^2 - z^2 = 1 \tag{10}$$

В выражении (10) центральная часть геометрической модели ЭМЦПП, представленная гиперболоидом, соответствует поверхности электропотребления цеха, левая часть модели, представленная окружностью, соответствует величине локального электропотребления, а правая часть –, представленная гиперболой, – уровням распределения локальных потребителей. Эта модель позволяет снять противоречие между выражениями (1) и (2).

Гиперболическое пространство модели ЭМЦПП можно представить в виде расслоенного многообразия S [5]. Гладкое отображение многообразия S в гиперболическое многообразие T записывают в виде $\pi : S \rightarrow T$. Слоями отображения являются карты, объединенные в атласы, а базой расслоения – само гиперболическое многообразие *T*. Расслоение строго означает, что для любой точки $x \in T$ найдутся такие окрестность $x \in U \subset T$ и диффеоморфизм $\psi : \pi^{-1}(U) \rightarrow U \times \Gamma$, что диаграмма

$$\pi^{-1}(U) \xrightarrow{\psi} U \times \Gamma, \pi^{-1}(U) \xrightarrow{\pi} U, U \times \Gamma \xrightarrow{p} U \tag{11}$$

коммутативна, т.е. $\pi = p \circ \psi$ и $\psi(x) = (\pi(x), \eta(x)a)$, где $\eta : \pi^{-1}(U) \rightarrow \Gamma$ некоторое отображение в группу Γ и $p(x, g) = x$ проекция на первый сомножитель.

Очевидно, что расчет ЭМЦПП через сумму карт не обеспечит требуемой точности из-за кривизны гиперболической поверхности модели.

Используя метод крупномасштабной геометрии [6], гиперболическое пространство модели ЭМЦПП представляют иерархическим деревом (сетью) и гиперболической группой [7] .

Если G является гиперболическим компактом (замкнутым и ограниченным гиперболическим пространством), а D – иерархическим деревом, то отображение $f: D \to G$ есть накрытие. При этом G – база накрытия, D – накрывающее пространство. Другими словами, иерархическое дерево сети ЭМЦПП накрывает гиперболическое пространство ЭМЦПП. Пространство иерархического дерева D является односвязным, а дерево D – универсальным накрывающим. Универсальное накрывающее в виде иерархического дерева заменяют на фундаментальную группу гиперболического пространства модели ЭМЦПП. (Группа есть множество элементов с двухместной ассоциативной операцией (два любых элемента группы порождают третий элемент группы), с нульместной операцией (группа имеет единичный элемент), одноместной операцией (каждый элемент группы имеет обратный элемент)). 1.Под гиперболической группой понимают конечно-порожденную группу, которая является гиперболическим пространством со словарной метрикой [8]. Эту метрику вводят при помощи графа Кэли гиперболической группы. Кроме приведенного выше определения 1 гиперболической группы, существуют ещё два эквивалентных определения 2 и 3: 2.конечно-порожденная группа называется гиперболической, если каждый подконус на бесконечности её графа Кэли является топологическим деревом; 3.конечно-порожденная группа называется гиперболической, если она удовлетворяет линейному изопериметрическому неравенству, соответственно. Из определения 1следует, что гиперболическая группа представляет собой иерархическое дерево. Из определения 2 следует, что иерархическое дерево безгранично делимо. Из определения 3 следует, что изопериметрическое неравенство может быть записано алгебраически. Эта запись $L(w) \le c \cdot |w|$ представляет дискретный аналог линейного изопериметрического неравенства и означает, что существует такая константа c, что длина любого слова $L(w)$ не превышает слово единичной длины $|w|$. Другими словами, значение всякого слова (расстояния) можно выразить через слово (расстояние) единичной длины.

Из теории гиперболических групп следуют их основные свойства.

Свойство 1. Гиперболических групп много, гиперболическими являются случайные группы. Конечное групповое представление с большой вероятностью задает гиперболическую группу.

Свойство 2. У гиперболических групп есть граница. Граница есть функториально построенное компактное пространство, на котором гиперболическая группа действует гомеоморфизмами. Многие свойства группы восстанавливают по её известной границе. Например, множество Кантора – это граница безгранично делимого иерархического дерева

. Свойство 3. Гиперболическая граница позволяет построить компактное гиперболическое пространство, отсюда существует выход на структурную устойчивость в смысле Аносова и Смейла.

Свойство 4. Гиперболической группой являются проективная группа $PSL(2, Z)$ и плоскость Лобачевского, которые обладают свойством конформности.

Свойство 5. Так как, тонкий треугольник является симплексом того комплекса, который представляет собой гиперболическое пространство, то гиперболическая группа является комбинаторной группой.

Свойство 6. Граф Кэли гиперболической группы представляет иерархическое метрическое пространство.

Сравнения структур гиперболической группы и иерархической сети распределения ЭМЦПП показывает, что они подобны. Это позволяет перенести свойства гиперболической группы на модель ЭМЦПП.

ЭМЦПП измеримо приборами учета электрической энергии. Здесь нет проблем. Однако поэлементный расчет ЭМЦПП для разработки прогноза, проведения анализа, нормирования, формирования отчетности дает чрезвычайно грубую оценку величины электропотребления [9]. Такой расчет не удовлетворяет запросам практики. Поскольку традиционный расчет позволяет получить степенное масштабно-инвариантное распределение составляющих ЭМЦПП, то ЭМЦПП следует считать фракталом. Для применения фрактального метода необходимо получить показатели фрактала. Фрактал имеет хаусдорфовы: метрику, меру и, как правило, дробную размерность. Однако для расчета ЭМЦПП эти показатели найти не удается.

Проблему расчета решают на основе того, что структура ЭМЦПП, как и структура фрактала, представляет собой иерархическое дерево [10], на котором могут быть распределены различные количества ресурса.

Фрактальная модель ЭМЦПП показывает, как связаны две величины электропотребления на одном носителе [9].

$$W = V^{d}, \tag{12}$$

где, $d = \log_V W = (\ln W)(\ln V)^{-1} = const$ (13)

Получив значение d на основе данных об электропотреблении за предыдущий период времени, уточняют грубую оценку ЭМЦПП по выражению

$$W^{*} = V = W^{d^{-1}} \tag{14}$$

При учете неравномерности распределения электропотребления на иерархическом дереве, применяют мультифрактальный формализм [11]. (В мультифрактале мера распределена по носителю неравномерно. Мера – неотрицательная аддитивная функция, равная нулю на пустом множестве. Меру ресурса определяют, приписывая множеству потребителей числовое значение.) Моменты распределения составляющих ЭМЦПП определяют по выражению:

$$M_q(W) = k_q \sum_{i=1}^{W} p_i^q = V^{\tau(q)}, \tag{15}$$

где $p_i = W_i \cdot W^{-1}$ – относительная частота составляющей баланса электропотребления (статистический вес); $-\infty < q < \infty$– порядок момента; $\tau(q)$ – показатель подобия электропотребления; k_q – коэффициент пропорциональности.

Используя выражения (15) и преобразование Лежандра получают

$$f(\alpha) = \alpha \cdot q - \tau(q) \qquad \alpha = \frac{d\tau(q)}{dq} \tag{16}$$

По выражение (16) рассчитывают спектр обобщенных размерностей для ЭМЦПП.

Для самоподобного объекта и самоаффинного графика, какими являются соответственно электрическое хозяйство промышленного предприятия, и его график электропотребления, показатель степенной функции (коэффициент подобия) находят из выражению: $D = 2 - H$ [12].

Для графо-аналитического метода нахождения показателя Херста H используют выражение:

$$R \cdot S^{-1} = c \cdot t^{H}, \tag{15}$$

где R – размах между максимальным и минимальным значениями графика; S – среднеквадратичное отклонение; c- постоянный множитель; t – время наблюдения.

Теория фракталов позволяет получить ответы на вопросы о степенной связи ресурсов распределенных на иерархическом дереве, о спектре неравномерного распределения ресурса по иерархическому дереву и о нахождении показателя степенной функции через самоаффинный график электропотребления.

Выделяют структурную и статистическую устойчивость модели ЭМЦПП.

Структурную устойчивость модели ЭМЦПП оценивают через понятие динамической системы, действующей в гиперболическом пространстве [13]. В теории динамических систем диффеоморфизм $f: N \to W$, где N– инвариантное множество, M – многообразие, гиперболичен на инвариантном множестве N, если касательное расслоение над N ($T_N W = N \to W$) раскладывают в два подпространства $T_N W = E^s \oplus E^u$. Причем подрасслоения E^s, E^u инвариантны относительно динамики, и вектора E^s растягиваются, а вектора E^u сжимаются под действием динамики, т.е.:

$$\left\| f^n(\nu) \right\| \le c_1 \cdot \lambda^n \|\nu\|, \forall n \in N, \nu \in E^s, \left\| f^n(\nu) \right\| \ge c_2 \cdot \mu^n \|\nu\|, \forall n \in N, \nu \in E^u, \quad (16)$$

где $c_1, c_2 > 0, \mu > 1 > \lambda > 0$ – константы.

Структурная устойчивость (грубость) означает, что динамическая система инвариантна по отношению к малым значениям деформаций. Критерием структурной устойчивости модели ЭМЦПП является гиперболичность (одновременное растягивание и сжатие подпространств многообразия электропотребления), плотность и неблуждаемость её траекторий для каждого потребителя, т.е. наличие аттрактора[13,14].

Статистическую устойчивость модели ЭМЦПП оценивают через центральную предельную теорему (ЦПТ) для независимых и одинаково распределенных случайных величин [15]. Некоторая функция распределения статистически устойчива, если к ней слабо сходится сумма функций распределений. (Различные виды вероятностной сходимости отличаются друг от друга не только по форме, но и по сути. Кроме слабого схождения выделяют сходимости: по вероятности, почти наверное, в среднеквадратичном, по распределению. Слабую сходимость функции распределения $G_n(x)$ к функции $G(x)$ обозначают $G_n(x) \xrightarrow{w} G(x)$. Такая сходимость равносильна поточечной сходимости $G_n(x) \to G(x)$ в точках непрерывности $G(x)$ [16].) В теории вероятности показано, что для статистической устойчивости функции распределения, она должна иметь запись в виде свертки функций распределений слагаемых. Для независимых случайных величин это условие всегда выполняется. При этом нормирующие постоянные сомножители (для двух слагаемых) сходятся к неотрицательным числам, связанным равенством $c_1^\alpha + c_2^\alpha = 1$, в котором число α находят из интервала $0 < \alpha \le 2$. Эти неизвестные постоянные входят в выражение для функционального уравнения, имеющего вид свертки функций распределений.

Сложность проблемы описания устойчивых законов состоит в решении этого уравнения. Устойчивые законы являются абсолютно непрерывными. Описание непрерывных устойчивых распределений осуществляют в терминах соответствующих характеристических функций, которые представляют собой изображение Фурье плотности функции распределения.

Иерархическую сеть модели ЭМЦПП следует рассмотреть с вероятностной точки зрения. При числе элементов, стремящихся к бесконечности, оно имеет устойчивое безгранично делимое распределение. Пример из [2] показывает, что распределения размеров элементов *2*-адического дерева имеет вид $y = 2^{-x} = \exp(-x \ln 2)$. Эта форма записи соответствует характеристической функции устойчивого безгранично делимого распределения Коши. Образом такого распределения является иерархическое дерево, а естественным пределом деления – множество Кантора. Следовательно, иерархический образ модели ЭМЦПП имеет прямое отношение к ЦПТ для безгранично делимых распределений и является статистически устойчивым [16].

Закон масштабирования связывает две измеримые величины ЭМЦПП. Его удобно представлять на логарифмической шкале выражением (12). Величины ЭМЦПП, распределенные в иерархической сети, связаны законом масштабирования. Показатель степени этой связи есть инвариант сети. Закон масштабирования для ЭМЦПП получают из числовой модели электропотребления [2,17], из теории фракталов [9,11], из теории категорий и топосов [1].

На основе закона масштабирования разрабатывают методику поэлементного расчета ЭМЦПП [1,18]. Методика включает поэлементный расчет ЭМЦПП по выражению (1) и инвариант сети в виде показателя степени закона масштабирования по выражению (13). Точную оценку значения ЭМЦПП получают по выражению (14). Если необходимо рассчитать спектр обобщенных размерностей для ЭМЦПП, то применяют выражение (15). Методика предполагает разработку БД оборудования цеха. Процесс расчета автоматизируют. Методика поэлементного расчета ЭМЦПП проверена и применена на автомобильном и металлургическом заводах г. Ижевска.

Основные результаты решения проблемы поэлементного расчета ЭМЦПП имеют отношение к техноценологическому направлению науки об электрическом хозяйстве потребителей электротехнической продукции и электрической энергии и мощности [19,20].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорьков С.А. Исследование структуры электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия для обоснования методики расчета электропотребления// Промышленная энергетика. 2015.№10. С. 27-29.
2. Хорьков С.А. Числовая модель электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия//Промышленная энергетика. 2018. №5. С.2-7.
3. Хорьков С.А. Геометрическая модель техноценоза// Промышленная энергетика. 2011. №1. С.24-27.
4. Хорьков С.А. Геометрический подход к обоснованию степенного рангового распределения в электрике// Электрика. 2009. №3.С.27-29.
5. Трофимов В.В. Введение в геометрию многообразий с симметриями. – М.: Издательство МГУ, 1989. – 359с.
6. Бураго, Д.Ю. Курс метрической геометрии/ Д.Ю. Бураго, Ю.Д. Бураго, С.В. Иванов. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004.512с.
7. Хорьков, С.А. Группы и метрики в геометрической модели техноценоза// В сборнике: Ценологическое моделирование: теоретические основания и практические результаты. Материалы XV конференции по философии технетики и семинара по ценологии (Москва, 19 ноября 2010 г.). Вып.47. «Ценологические исследования».– М.: Технетика, 2011. .– С.37-46.
8. Громов, М. Гиперболические группы.– Ижевск: Институт компьютерных технологий, 2002.– 160 с.
9. Хорьков, С.А. Проблема расчета электропотребления многономенклатурного производства и некоторые пути её решения// Промышленная энергетика.2010. №8.С.34-36.

10. Морозов, А.Д. Ведение в теорию фракталов.– Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004.– 160с.
11. Хорьков, С.А. Мультифрактальный анализ структуры электропотребления многономенклатурного производства// Промышленная энергетика. 2008. №8.С.27-29.
12. Хорьков, С.А. Методики составления баланса и нахождение инварианта графика электропотребления промышленного предприятия// Промышленная энергетика. 2009. №3.С.19-21.
13. Пилюгин, С.Ю. Пространства динамических систем.– Москва- Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных технологий, 2008.– 272с.
14. Хорьков, С.А. Гиперболичность и структурная устойчивость модели рангового распределения электропотребления промышленного предприятия// Промышленная энергетика. 2010. №2. С. 28-33.
15. Золотарев, В.М. Устойчивые законы и их применения.– М.: Знание, 1984.– 64с.
16. Опойцев, В.И. Школа Опойцева: Теория вероятностей. Учебное пособие.– М.: ЛЕНАНД, 2018.– 280с.
17. Хорьков, С.А. Обоснование закона масштабирования расчетного и приборного электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия.//Федоровские чтения-2017: XLVII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы (Москва 15-17 ноября 2017)/ под общ. ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. С.85-88.
18. Хорьков, С.А. Об использовании числовой модели техноценоза для расчёта месячного электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия// Промышленная энергетика. 2018. №7. С. 47-50.
19. Кудрин, Б. И. Два открытия: явление инвариантности структуры техноценозов и закон информационного отбора/ Под общ. ред. Г.А. Петровой.– М.: Технетика, 2009.– 82с.
20. Кудрин , Б.И.Техноценологические основания науки об электрическом хозяйстве потребителей электротехнической продукции и электрической энергии и мощности. Монография/ Б.И. Кудрин, С.А. Цырук //Вып.56. «Ценологические исследования» .– М.: Технетика, 2015.– 293с.

13. ОБОСНОВАНИЕ ЗАКОНА МАСШТАБИРОВАНИЯ РАСЧЕТНОГО И ПРИБОРНОГО ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ЦЕХА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ*

Аннотация. Проблема расчета электропотребления многономенклатурного цеха заключается в том, что сумма его расчетных частей всегда превышает приборное электропотребление. Уточненная методика включает расчет составляющих электропотребления и применение закона масштабирования, связывающего расчетное и приборное электропотребление. Обоснование закона масштабирования производят в предположении существования гиперболического распределения и структурной устойчивости электропотребления цеха. Его получают на основе теории категорий и построения соответствующего топоса. Недостатком указанного обоснования можно считать непривычность исходных предположений и трудность в интерпретации результата. Новая модель электропотребления многономенклатурного цеха имеет два основания. С одной стороны, радиальную сеть электроснабжения и электропотребления многономенклатурного цеха можно представить в виде иерархического дерева. С другой стороны, установлено, что пространство степенных законов, а следовательно и степенное распределение электропотребления цеха, порождено *p*-адическими числами На этой основе строят *p*-адическую модель электропотребления и производят новое обоснование закона масштабирования. Расширение арсенала обоснования закона масштабирования *p*-адическими числами позволяет привлечь теорию фракталов и получить новую интерпретацию связи расчетного и приборного электропотребления многономенклатурного цеха.

Ключевые слова: многономенклатурноый цех промышленного предприятия, закон масштабирования расчетного и приборного электропотребления, математическое моделирование, числовая асимметрия, фрактальная геометрия, p-адические числа.

---

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. Обоснование закона масштабирования расчетного и приборного электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков // Фёдоровские чтения 2017 : XLVII Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк., Москва 15-17 нояб. 2017 г. / М-во образования и науки РФ, Национ. исслед. ун-т "МЭИ".– Москва : Издат. дом МЭИ, 2017.– С. 85-88.

В журнальной статье [1] сформулирована проблема расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия и обоснована методика его расчета. Суть проблемы в том, что сумма расчетных частей месячного электропотребления многономенклатурного цеха всегда превышает приборное электропотребление, т.е. $W=\sum_{j=1}^{n} W_j$, $W>V$, где W, V – расчетное и приборное месячное электропотребления, соответственно. При этом упорядоченный по убыванию ряд составляющих электропотребления имеет степенное (гиперболическое) распределение $W(i)=W_1 \cdot i^{-\alpha}$, где W_1 – константа электропотребления, i – ранг, α – показатель степени гиперболического (степенного) распределения. Уточнение расчетных частей в рамках традиционной методики не устраняет указанное неравенство [1].

Уточненная методика включает расчет составляющих электропотребления и применение закона масштабирования, связывающего расчетное и приборное электропотребление. Обоснование закона масштабирования производят в предположении существования гиперболического образа и структурной устойчивости электропотребления многономенклатурного цеха. Его получают на основании теории категорий и построения соответствующего топоса. Закон масштабирования имеет вид:

$$W=V^{d(\alpha)} \tag{1}$$

Входящий в выражение (1) показатель степени – инвариант электропотребления (и сети электроснабжения) многономенклатурного цеха получают из выражения:

$$d(\alpha)={}^{\ln W(\alpha)}\!\big/_{\ln V(\alpha)} \tag{2}$$

Применение закона масштабирования позволяет получить точную оценку электропотребления многономенклатурного цеха по выражению[1]:

$$W^{*}=V=W^{\frac{1}{d(\alpha)}} \tag{3}$$

Недостатком указанного обоснования можно считать непривычность исходных предположений и трудность в интерпретации результата.

Новая модель электропотребления многономенклатурного цеха имеет два основания. С одной стороны, радиальную сеть электроснабжения (и электропотребления) многономенклатурного цеха можно представить в виде иерархического дерева. С другой стороны, установлено, что пространство степенных законов, а следовательно и степенное распределение электропотребления цеха, порождено p -адическими числами [2].

На этой основе строят p -адическую модель электропотребления и производят новое обоснование закона масштабирования. Расширение арсенала обоснования закона масштабирования p -адическими числами позволяет привлечь теорию фракталов и получить новую интерпретацию связи расчетного и приборного электропотребления многономенклатурного цеха.

P -адические числа введены в математику в конце 19 века немецким математиком К.Гензелем. Поле этих чисел является пополнением поля рациональных чисел. Эти числа записывают в виде бесконечного ряда по степеням, какого-либо простого числа p или в форме, подобной записи обычного десятичного числа, но в обратной последовательности, т.е. с бесконечной «целой» частью, соответствующей положительным степеням p. Одна из форм их записи аналогична записи произвольной функции, разложенной в ряд Лорана. На поле p -адических чисел существует специальная норма. Её смысл заключается в том, что она обратно пропорциональна степени делимости данного числа на фиксированное простое число. Эта норма позволяет индуцировать особую метрику. Основное отличие этой ультраметрики от обычной метрики заключается в её неархимедовости, т.е. в невозможности традиционного (аддитивного) применения аксиомы Архимеда (аксиомы измеримости) и замены его нетрадиционным (мультипликативным) применением. Неархимедова геометрия приводит к представлению p -адических чисел в виде иерархических деревьев. Это дерево имеет ветвление на p частей в каждой вершине [2,3]. Вершины ветвления нумеруют числами натурального ряда. Аппроксимация инверсии этого ряда даёт гиперболу. p -адические числа интерпретируют числовой записью фрактала [2].

P-адическая модель электропотребления многономенклатурного цеха в виде иерархического дерева и теория фракталов позволяют ввести: ступень деления или эталон деления электропотребления цеха V, степень деления электропотребления цеха или его фрактальную размерность d, величину ресурса электропотребления цеха W. На основе отношений на p-адическом дереве все эти характеристики связаны друг с другом, т.е. существуют выражения каждой величины через две другие. Запишем эти выражения для величины ресурса электропотребления цеха (расчетного электропотребления цеха), фрактальной размерности электропотребления цеха, эталона деления электропотребления цеха (приборного электропотребления цеха), соответственно:

$$W = V^d \qquad (4)$$

$$d = \log_V W = \ln W / \ln V \qquad (5)$$

$$V = W^{\frac{1}{d}} \qquad (6)$$

Из приведенного выше видно, что выражения (1) и (4) , (2) и (5) , (3) и (6) имеют идентичные структуры, соответственно. Следовательно, p-адическая модель позволяет связать законом масштабирования расчетное и приборное электропотребление многономенклатурного цеха промышленного предприятия. Другими словами, логарифм расчетного электропотребления, полученного в конкретных условиях (иерархическая модель, определенный способ расчета составляющих электропотребления и степенное распределение), всегда в d раз больше логарифма приборного электропотребления.

Следует отметить, что в своё время поиск эталонного H-распределения ценоза привёл Б.И. Кудрина к представлению факториала любого натурального числа в виде произведения степеней ряда простых чисел [4]. В отличие от его модели p-адическая модель является «однородной», т.е. её основанием является одно простое число. В теории p-адики значительное место занимает 2-адическое число. В модели, на основе этого числа, синхронизация процесса деления на части происходит автоматически [2]. P-адическая модель иерархична и поэтому целостна, все её элементы связаны структурой дерева (сетью). Каждый элемент определен местом в сети и, в то же время, от его места зависит положение других элементов сети. Границы иерархического дерева условны, поскольку p -адическое дерево безгранично делимо. Связи между элементами дерева «слабые», поскольку являются иерархическими связями. Упорядочить можно не любые, а только элементы разных уровней ветвления дерева. Ресурс, заключенный в дереве может быть материальным, энергетическим, информационным. Статистика в дереве является негауссовой, поскольку независимые одинаково распределенные величины безгранично делимы. Приведенные характеристики суть характеристики ценоза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорьков, С.А. Исследование структуры электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия с целью обоснования методики его расчета // Промышленная энергетика. 2015, №10. С.36-39.
2. Маврикиди, Ф.И. Числовая асимметрия в прикладной математике. Фракталы, p-адические числа, апории Зенона, сложные системы.– М.: Дельфис, 2015.– 416 с.
3. Коблиц, Н. *p*-Адические числа, *p*-адический анализ и дзета-функции.– М.: Мир, 1982.– 192с.
4. Кудрин, Б. И. Семнадцать лекций по общей и прикладной ценологии: монография.– М.: Технетика, 2014.– 227с.

14. МЕТОДОЛОГИЯ ПРИНЦИПА САМОПОДОБИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ЦЕХА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ*

Аннотация. Отмечено, что самоподобные структуры реального мира являются носителями материальных, энергетических или информационных ресурсов. Поэтому теоретический и практический интерес представляет установление качественной и/или количественной связи между самоподобной гиперболической структурой и распределенным на ней ресурсом. Показано, что двухслойная модель электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, соединяющая величину, в виде вещественного числа, и самоподобную структуру, в виде p-адического числа, позволяет установить гиперболическую зависимость между нормами этих чисел. Показано, что древесная и гиперболическая структуры электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия связаны через ветвящийся случайный процесс. Показано, что закон масштабирования между расчетным и фактическим (приборным) электропотреблением многономенклатурного цеха промышленного предприятия устанавливают на основе гиперболических структур этих распределений, а также на основе модели электропотребления в виде элементарного топоса.

Ключевые слова: Принцип самоподобия, гиперболическая структура, закон масштабирования.

Самоподобный объект в точности или приближенно совпадает с частью себя самого, т.е. объект, как целое, имеет ту же форму, что и одна или несколько его частей. Считается, что самоподобие есть геометрическое понятие, хотя иногда говорят и о статистическом самоподобии, в этом случае части и целое объекта имеют одно и тоже статистическое распределение. Обычно самоподобный объект представляют через скейлинг – масштабно-инвариантное распределение частей. Самоподобные структуры реального мира являются

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. Методология принципа самоподобия в исследовании электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия / С. А. Хорьков // Фёдоровские чтения 2020 : L Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк., Москва 17-20 нояб. 2020 г. / М-во науки и ВО РФ, Национ. исслед. ун-т "МЭИ" ; под общ. ред. Ю. В. Матюшиной.– Москва :Издат. дом МЭИ, 2020.– С. 65-72.

носителями материальных, энергетических или информационных ресурсов. Поэтому теоретический и практический интерес представляет установление качественной и/или количественной связи между самоподобной гиперболической структурой и распределенным на ней ресурсом. Для промышленной электроэнергетики этот вопрос трансформируется в установление количественной связи между величиной и самоподобной (древесной, гиперболической) структурой электропотребления многономенклатурного цеха. Геометрически ресурс и его части могут быть представлены через площадь графика нагрузки, а самоподобная (древесная) структура – через фракталы, *p*-адические числа, ветвящиеся процессы, гиперболические *H*- распределения [1]. Интерес также представляет исследование древесной структуры системы электроснабжения промышленного предприятия при помощи модели ветвящегося детерминированного или случайного процесса.

Поэлементный расчет электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия (ЭМЦПП) позволяет получить потребление цеха через его составляющие, а также гиперболическое распределение номенклатуры этих составляющих. Проблема поэлементного расчета заключается в том, что расчетное ЭМЦПП (W) через составляющие всегда превышает ЭМЦПП, полученное по приборам учет (V) а за тот же период времени [2,3].

Эмпирической основой методологии самоподобия ЭМЦПП и основным её противоречием является тот факт, что величина электропотребления цеха аддитивна и конечна, а гиперболическая структура мультипликативна и не имеет естественной границы.

Двухслойная модель многономенклатурного цеха, в которой разделены величина и самоподобная структура электропотребления, имеет вид:

$$W_* \leftarrow W \rightarrow W^*, \qquad (1)$$

где W_*, W^* – ресурсный слой электропотребления, выраженный через вещественное число, и структурный слой – , выраженный через *p*-адическое число, соответственно; W – ресурс электропотребления, выраженный через рациональное число; $\leftarrow$ и $\rightarrow$ – знаки отображения [2,3].

Формально модель (1) связывает рациональные числа *(Q)* с вещественными *(R)* и *p*-адическими числами *(Q_p)*. Вещественные числа получают пополнением (расширением) поля рациональных чисел в обычной топологии. Топологии, которые нумеруют простыми числами, являются полями *p*-адических чисел.

Поле вещественных чисел получают расширением поля рациональных чисел за счет архимедовой нормы, а поле *p*-адических чисел – за счет неархимедовой нормы.

Архимедовой нормой называют отображение, поля Q в множество неотрицательных вещественных чисел *(R_+)*, обозначаемое выражением $\| \; \| : Q \to R_+$. Оно удовлетворяет трем условиям: 1) $\|x\| = 0$ тогда и только тогда, когда $x = 0$; 2) норма от произведения чисел равна произведению норм этих чисел, т.е. $\|x \cdot y\| = \|x\| \cdot \|y\|$;3) норма от суммы чисел меньше или равна сумме норм этих чисел, т.е. $\|x + y\| \le \|x\| + \|y\|$. Это условие называют неравенством треугольника.

Примером архимедовой нормы на поле рациональных чисел является абсолютная величина $\|x\| \equiv |x|$. Архимедову норму обозначают $|x|_\infty$.

Архимедова норма индуцирует функцию (метрику), позволяющую определить расстояние между двумя точками. Архимедова метрика удовлетворяет трем условиям: 1) $\rho(x, y)) = 0$ тогда и только тогда, когда $x=y$; 2) $\rho(x, y) = \rho(y, x)$, условие симметрии; 3) $\rho(x, y) = \rho(x, z) + \rho(z, y)$. условие неравенства треугольника.

Норму, для которой выполняют два первых условия архимедовой нормы, а условие неравенства треугольника заменяют на условие усиленного треугольника $\|x + y\| \le \max(\|x\|, \|y\|)$, называют неархимедовой.

Неархимедова норма p-адического числа имеет вид $|\ |_p : Q \to R_+$. Её записывают через кратность вхождения m простого числа p в разложение ненулевого целого числа a на простые множители, т.е. через степень наибольшего целого неотрицательного числа $m,$ для которого $a \equiv 0 \pmod{p^m}$. Причём $|x|_p = (p^m)^{-1}$, если $x \neq 0$ и $|x|_p = 0$, если x=0 [4].

Неархимедову метрику отличают от неархимедовой тем, что условие неравенства треугольника $\rho(x,y) = \rho(x,z) + \rho(z,y)$ заменяют на условие усиленного неравенства треугольника $\rho(x,y) \le \max(\rho(x,z), \rho(z,y))$.

Это условие означает, что все треугольники p-адического пространства являются равнобедренными, причем их основание не превышает стороны треугольника. Метрику с условием неравенства усиленного треугольника называют ультраметрикой, а пространство – ультраметрическим. Ультраметрическое пространство позволяет естественным образом устанавливать на нем порядок. С геометрической точки зрения целое p-адическое число представляет собой граф-дерево.

Таким образом, поле вещественных чисел позволяет моделировать величину электропотребления, а поля p-адических чисел его самоподобную структуру.

Двухслойная модель (1) позволяет также вводить и исследовать меры, размерности и нормы слоев ЭМЦПП.

Мера ресурсной части может быть получена на основе покрытия множества ресурса конечным числом шаров *N(a)* радиуса a,

$$W_* = \lim_{a \to 0} N(a) a^2 , \tag{2}$$

где *N(a)* –количество шаров покрытия, a>0 –радиус шара покрытия, 2– размерность ресурсного пространства.

Выражение (2) показывает, что с геометрической точки зрения величина ЭМЦПП представляет собой площадь, имеющую размерность 2.

Меру иерархической части ЭМЦПП следует записать в виде:

$$W^* = \lim_{a \to 0} N(a) a^d \qquad (3)$$
,

где d – размерность иерархическоой структуры ЭМЦПП.

Иерархическая структура имеет размерность, которая не равна целому числу. В выражении (3) размерность структуры есть размерность Хаусдорфа-Безиковича

$$d = \lim_{a \to 0} \ln(N(a))(\ln(a^{-1}))^{-1}, \qquad (4)$$

Она заключена в диапазоне $1 < d < 2$. Поэтому в модели ЭМЦПП иерархическую структуру следует считать фракталом. Его размерность находят экспериментально.

Выражение (2) позволяет получить величину ЭМЦПП на евклидовой плоскости, а выражение (3) представляет собой числовую характеристику фрактала-дендрита и/или целого p-адического числа [2].

Размерность площади ресурса и размерность структуры иерахического дерева связаны через показатель Херста h. Связь этих размерностей на самоаффинном пространстве имеет вид $h = 2 - d$ [2].

Если рассматривать проекции двухслойной модели ЭМЦПП как пространства, то на пространстве W вводят нормы для получения ресурсной $\|W_*\|$ и иерархической $\|W^*\|$ частей модели ЭМЦПП. Произведение этих норм, по аналогии с двойной характеризацией рационального числа по теореме Островского [2], позволяет получить значение некоторой величины ЭМЦПП, выраженной через рациональное число

$$\|W_*\| \cdot \|W^*\| = c, \qquad c - const \in W. \qquad (5)$$

Нетрудно увидеть, что нормы в выражении (5) связаны самоподобной гиперболической зависимостью [2].

В двухслойной модели ЭМЦПП (1) параметры структуры p-адического дерева можно выразить через параметры ветвящегося случайного процесса[5] .

Ветвящийся случайный процесс записывают через случайную величину

$$\xi = (p_0, p_1, p_2, 0, \ldots). \tag{6}$$

где p_0, p_1, p_2 означает вероятность исчезновения элементов, вероятность постоянства (низменности) элементов, вероятность появления новых элементов на каждом новом уровне ветвления, соответственно.

Для детерминированного *2*-адического дерева из выражения (6) имеют

$$P(\xi = 0) = 0 \quad , P(\xi = 1) = 0 \quad , P(\xi = 2) = 1 \quad . \tag{7}$$

Другими словами, для описания *2*-адического дерева ξ не является случайной величиной, поскольку, вероятность появления новых элементов на каждом новом уровне ветвления равна единице, а остальные вероятности равны нулю.

Тогда производящая функция на основе (7) имеет вид $F(s) = p_2 s^2$, где p_2=1, а после *n*–ой итерации она будет равна

$$F_n(s) = F(F_{n-1}(s)) = \underbrace{F(F(\ldots F(s)\ldots))}_{n} = \left\{\ldots\left\{\left[s^2\right]^2\right\}^2\ldots\right\}^2 = \left\{s^2\right\}^n . .$$

Математическое ожидание числа элементов после *n*–ой итерации будет равно

$$M(S_n) = \left.\frac{\partial F_n(s)}{\partial s}\right|_{s=1} = 2^n \left.\left\{s^{2^n} - 1\right\}\right|_{s=1} = 2^n .$$

Очевидно, что размеры элементов на каждом уровне деления будут равны 2^{-n}.

Связь между древесной и гиперболической структурами ЭМЦПП можно представить через случайный ветвящийся процесс чистого размножения Юла $p_i(t)$, который может быть прерван в любой момент времени с известной вероятностью $p(t)$ [6].

Процесс распределения (размножения) Юла представляет собой геометрическое распределение с экспоненциальным основанием.

Распределение вероятности для него имеет вид

$$p_i(t) = 0, \qquad i = 0 \tag{8}$$
$$p_i(t) = e^{-\lambda t}(1 - e^{-\lambda t})^{i-1}, \qquad i = 1,2,\ldots$$

где λ - коэффициент пропорциональности

Вероятность прекращения ветвления имеет вид

$$p(t) = \mu \cdot e^{-\mu \cdot t}. \tag{9}$$

где μ - коэффициент пропорциональности

Стационарное распределение процесса ветвления на основе (8) и (9) за достаточно большой промежуток времени следует усреднить по параметру времени *t.*

$$p(i) = \int_0^{\infty} p_i(t) \cdot p(t) dt. \tag{10}$$

$$p(i) = \alpha \cdot B(i, \alpha + 1), \qquad i = 1,2,\ldots. \tag{11}$$

Результат вычисления (10) имеет вид

где $B(i, \alpha+1) = \dfrac{\Gamma(i)\Gamma(\alpha+1)}{\Gamma(i+\alpha+1)}$ – бета функция; $\Gamma(i) = (i-1)!$; гамма-функция; $\alpha = \mu \cdot \lambda^{-1}$ – характеристический показатель.

При $\lambda > \mu$ вероятность вырождения случайного процесса меньше единицы. На основе формулы Стирлинга при $i \to \infty$ имеют

$$\frac{\Gamma(i)}{\Gamma(i+\alpha+1)} \to \frac{1}{i^{1+\alpha}}. \tag{12}$$

$$p(i) = \frac{\Gamma(\alpha+1) \cdot \alpha}{i^{1+\alpha}} = \frac{A}{i^{1+\alpha}}. \tag{13}$$

Окончательно из (11) с учетом выражения (12) получают

Модель (10) в виде (13) иллюстрирует связь между случайным ветвящимся процессом и гиперболическим распределением.

Гиперболическое распределение ЭМЦПП позволяет найти связь между его расчетной величиной (W) и величиной полученной по приборам учета (V) [2,3]. Площади электропотребления, ограниченные гиперболами, вычисляют по выражениям.

$$\int_1^a \frac{dw}{w} = \ln W, \qquad \int_1^a \frac{dv}{v} = \ln V.. \tag{14}$$

Если существует отношение площадей в виде

$$d = \frac{\ln W}{\ln V} - const,. \tag{15}$$

то выражение (15) позволяет записать закон масштабирования ЭМЦПП в виде

$$W = V^d. \tag{16}$$

Закон масштабирования ЭМЦПП (16) можно получить также через теорию категорий. Элементарный топос – есть конечно полная категория, с классификатором подобъектов, декартово замкнутая. В данном случае он имеет вид

$$\begin{array}{ccc} V & \xrightarrow{f} & W \\ \downarrow^{!} & & \downarrow^{\chi} \\ 1 & \xrightarrow{T} & \Omega \end{array}, \tag{17}$$

где V, W – фактическое и расчетное пространство ЭМЦПП, соответственно; 1 и Ω – конечный объект и классификатор подобъектов, соответственно. Знаки $f, T, !, \chi$ обозначают соответственно – исходная стрелка, стрелка «истина», единственная стрелка, характеристическая стрелка [2].

Из декартовой замкнутости элементарного топоса (17) следует существование декартово замкнутого выражения

$$\begin{array}{ccc} v \times c & \rightarrow & w \\ \downarrow & & \downarrow \\ v & \rightarrow & w^c \end{array}, \tag{18}$$

На основе выражения (18) можно записать

$$\hom(v \times c, w) \cong \hom(v, w^c), \qquad (19)$$

где $v \in V$, $w \in W$, c – показатель степени, $v \times c$ – декартово произведение.

Другими словами, из выражений (18) и (19) видно, что топос содержит экспоненты. Тогда существует степенная связь расчетного и фактического (приборного) ЭМЦПП в виде

$$V = W^C. \qquad (20)$$

Коэффициент подобия является инвариантом гиперболических распределений. Он связан с отношением площадей ЭМЦПП (15).

$$d = C^{-1} = \log_V W. \qquad (21)$$

Выводы

1. Двухслойная модель электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, соединяющая величину, в виде вещественного числа, и самоподобную структуру, в виде *p*-адического числа, позволяет установить гиперболическую зависимость между нормами этих чисел.

2. Древесная и гиперболическая структуры электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия связаны через ветвящийся случайный процесс.

3. Закон масштабирования между расчетным и фактическим (приборным) электропотреблением многономенклатурного цеха промышленного предприятия устанавливают на основе гиперболических структур этих распределений, а также на основе модели электропотребления в виде элементарного топоса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрин, Б. И. Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические *H*-распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта. В кн.: Философские основания технетики.

Вып.19. "Ценологические исследования".– М.: Центр системных исследований, 2002.– С.357-412.

2. Хорьков, С.А. Проблема расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, модели и методики для ее решения : монография.– Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2019.– 124 с.
3. Хорьков, С.А. Числовая модель электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия// Промышленная энергетика. – 2018. №5.С.44-51.
4. Коблиц Н. *P*-адические числа, *p*-адический анализ и дзета-функции. / Пер. с англ. В.В. Шокурова. Под ред. и с предисловием Ю.И. Манина.– М.: Мир, 1981.– 192с.
5. Иванов, С.А. Основы теории случайных кластерных процессов и её практическое применение.– М.: ЛЕНАНД, 2017.– 224с.
6. Яблонский, А.И. Модели и методы исследования науки.– М.: Эдиториал УРСС, 2001.– 400с.

15.МЕТОДОЛОГИЯ ПРИНЦИПА ЧИСЛОВОЙ АСИММЕТРИИ В ИССЛЕДОВАНИИ И РАСЧЕТЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ЦЕХА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ*

Аннотация. Отмечено, что методология принципа числовой асимметрии направлена исследование сложных объектов, которые имеют две стороны, обладающие, в определенном смысле, противоречивыми свойствами. Например, такие свойства имеет модель электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, включающая конечный ресурс электропотребления и бесконечную (в потенции) гиперболическую структуру этого ресурса. Кроме того, числовая асимметрия является моделью электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, природного фрактала, (техно)ценоза, включающего некий ресурс и древесную и, соответствующую ей, гиперболическую структуру. Если использовать гиперболическую структуру в качестве своеобразной системы координат, то можно количественно сравнивать два ресурса, распределенных в сложной системе. Указанная связь позволяет решить проблему и разработать методику поэлементного расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия. Представлен пример использования математического инструментария принципа числовой асимметрии для исследования и расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия.

Ключевые слова: Принцип числовой асимметрии, гиперболическая структура, закон масштабирования.

В [1] представлена методология принципа самоподобия для исследования и поэлементного расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия (ЭМЦПП). В её основу положена форма одинаковая для целого и его частей. Эта форма позволяет получить самоподобную гиперболическую структуру. Для исследования и расчета ЭМЦПП,

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. Методология принципа числовой асимметрии в исследовании и расчете электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков // Фёдоровские чтения 2021 : LI Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк., Москва 17-19 нояб. 2021 г. / М-во науки и ВО РФ, Национ. исслед. ун-т "МЭИ" ; под общ. ред. Ю. В. Матюшиной.– Москва : Издат. дом МЭИ, 2021.– С. 23-29.

кроме формы, вводят также величину ресурса. И далее рассматривают форму и ресурс совместно. Следует отметить, что двухслойная модель многономенклатурного цеха, разработанная для решения проблемы поэлементного расчета ЭМЦПП, также ориентирована на совместное рассмотрение самоподобной формы и ресурса электропотребления. Становится понятным, что принцип самоподобия сам по себе является недостаточным для той цели, для которой его применение декларируют [1]. В большей степени ей соответствует принцип двойственности, ориентированный на совместное рассмотрение формы и ресурса. Этот принцип формально воспроизводит числовая асимметрия, предназначенная для исследования сложных систем и ценозов [2].

Методология принципа числовой асимметрии направлена на поиск и исследование таких объектов, которые имеют две стороны, обладающие, в определенном смысле, противоречивыми свойствами. Например, такие свойства имеет модель электропотребления, включающая конечный ресурс электропотребления и бесконечную (в потенции) гиперболическую структуру этого ресурса. Кроме того, числовая асимметрия является моделью природного фрактала, (техно)ценоза, термодинамической системы, включающей также некий ресурс и древесную и, соответствующую ей, гиперболическую структуру. Причем гиперболическая структура, соответствующая ресурсу, является инвариантом, т.е. она остается гиперболической при разных значениях ресурса, распределенного в природном фрактале, (техно)ценозе, термодинамической системе. Если использовать гиперболическую структуру в качестве своеобразной системы координат, то можно количественно сравнивать два ресурса, распределенных в сложной системе. Эту связь выражают в виде закона масштабирования, показывающего в общем случае, что некоторые феномены нашего мира имеют одинаковую структуру при рассматривании их в любом масштабе. Указанная связь позволяет решить проблему и разработать методику поэлементного расчета ЭМЦПП. Имея расчетный ресурс и экспериментально установленный показатель степени, связывающий масштабы, получают точную оценку ЭМЦПП.

Пример использования математического инструментария принципа числовой асимметрии для исследования и расчета ЭМЦПП.

1. Проблема поэлементного расчета ЭМЦПП [1,3].

Поэлементный расчет ЭМЦПП, кВт·ч, производят на основе базы данных электрооборудования многономенклатурного цеха и получают в виде:

$$W = \sum_{j=1}^{n} W_j, \tag{1}$$

где W, W_j – соответственно, расчетное месячное ЭМЦПП и его составляющие, и в виде:

$$W_j(i) = W_o i^{-\alpha}, \tag{2}$$

где W_o – константа электропотребления; i – ранг; α– показатель степени гиперболического (степенного) распределения

Проблема расчета ЭМЦПП заключается в том, что расчетное ЭМЦПП через составляющие всегда превышает ЭМЦПП, полученное по приборам учета за тот же период времени:

$$W > V, \tag{3}$$

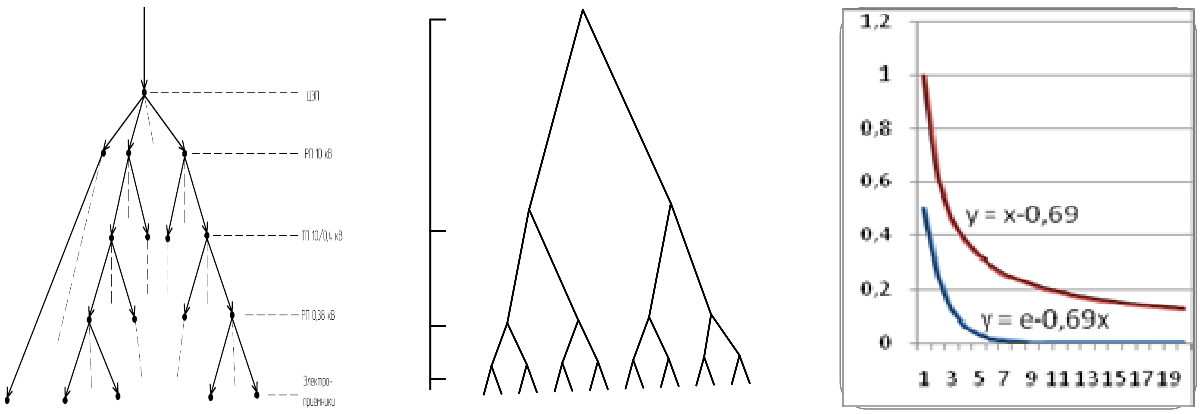
где W, V – соответственно, расчетное и приборное месячное ЭМЦПП.

Из выражения (1) следует, что величину ЭМЦПП складывают из частей, т. е. величина ЭМЦПП аддитивна и конечна. Выражение для гиперболического (степенного) распределения ЭМЦПП (2) мультипликативно и не имеет естественной границы. При этом возникает противоречие между полученными результатами. Одно выражение для ЭМЦПП (1) конечно, а выражение (2) может быть ограничено лишь искусственным путем.

Проблема создает препятствие для разработки методики поэлементного расчета ЭМЦПП.

Кроме того, структура системы электроснабжения промышленного предприятия имеет иерархическую структуру (1УР-5УР), представленную на рисунке 1. Из рисунка видно, что моделью этой структуры является 2-адическое число. В общем случае модель может представлять смесь *p*-

адических чисел. Распределение размеров и количества элементов на уровнях p-адического дерева имеют экспоненциальное распределение, а распределение уровней – гиперболическое (степенное) распределение. Уместно обратить внимание на аналогию между гиперболической структурой электроснабжения и гиперболической структурой электропотребления многономенклатурного цеха. Структура сети электроснабжения является древесной материальной видимой, гиперболическое распределение имеют её уровни ветвления, гиперболическую структуру электропотребления многономенклатурного цеха невозможно осязать, её получают лишь по результатам ранжирования составляющих электропотребления.



а в с

Рис. 1. Структура иерархической системы промышленного предприятия, её модель в виде 2-адического числа и графики распределения размеров элементов модели на уровнях (экспонента) и распределения уровней (гипербола): а – дерево-схема системы электроснабжения промышленного предприятия; в – схема целого 2-адического числа; с – экспонента и гиперболическое распределение 2-адического числа

2. Формальное выражение числовой асимметрии имеет вид:

$$R \leftarrow Q \rightarrow Z_p, \tag{4}$$

где Q, R, Z_p – соответственно, поле рациональных, вещественных и целых p-адических чисел [4].

Числовая модель объединяет вещественное и p-адическое представление рационального числа.

Рациональное число в математике представляет собой отношение двух целых чисел, поэтому оно есть «физическое» число. С его помощью выполняют измерения физических величин. Например, физическому параметру электропотребления сопоставляют рациональное число на шкале прибора измерения. Моделями рационального числа можно считать вещественное и p-адическое числа. Поле вещественных чисел R и поле p-адических чисел Q_p (поле целых p-адических чисел Z_p) получают пополнением поля рациональных чисел Q. Под пополнением (расширением) метрического пространства X понимают присоединение к нему пределов фундаментальных последовательностей. Пополнение поля Q осуществляют с помощью вещественных или p-адических норм.

Естественность двойного нормирования p-адических чисел позволяет записать рациональное число, через сопряженные метрики (абсолютные значения):

$$|y|_\infty |x|_p^\alpha = c, \qquad c \in Q, \tag{5}$$

где $|y|_\infty$ и $|x|_p^\alpha$ – соответственно, метрика (абсолютное значение) на поле вещественных чисел и метрика (абсолютное значение) на поле p-адических чисел; α – фиксированное вещественное число.

3.Двухслойная модель электропотребления ЭМЦПП [1, 3].

Разрешить противоречие, представленное выражениями (1) и (2), позволяет двухслойная модель ЭМЦПП, аналогичная выражению числовой асимметрии(4):

$$W_* \leftarrow W \rightarrow W^*, \tag{6}$$

где W_*, W^* – соответственно, ресурсный или энергетический и иерархический или структурный слой электропотребления цеха; $\leftarrow$ и $\rightarrow$ – знаки отображения [1, 3].

Модель (6) объединяет ресурсный и иерархический слои ЭМЦПП. Ресурсная часть модели позволяет получить баланс ЭМЦПП, иерархическая –

зафиксировать границы и связи между его потребителями электрической энергии.

Двухслойная модель позволяет также ввести и исследовать меры, размерности и нормы слоев (пространств) ЭМЦПП.

Мера ресурсной части может быть получена на основе покрытия множества ресурса конечным числом шаров $N(a)$ радиуса a:

$$W_* = \lim_{a \to 0} N(a) a^2, \tag{7}$$

где $N(a)$ – количество шаров покрытия; $a > 0$ – радиус шара покрытия; 2 – размерность ресурсного пространства.

Отсюда видно, что с геометрической точки зрения ресурс ЭМЦПП представляет собой площадь, имеющую размерность 2.

Меру иерархической части следует записать в виде:

$$W^* = \lim_{a \to 0} N(a) a^d, \tag{8}$$

где d – размерность иерархического пространства ЭМЦПП.

Иерархическая структура имеет размерность не равную целому числу. В двухслойной модели слой структуры имеет размерность Хаусдорфа – Безиковича в диапазоне $1<d<2$. Поэтому, можно считать, что модель ЭМЦПП имеет свойства природного фрактала. Размерность иерархической структуры находят при помощи экспериментальных данных.

Выражение (7) позволяет получить величину ЭМЦПП на евклидовой плоскости, а выражение (8) представляет собой числовую характеристику фрактала-дендрита.

Размерность площади ресурса и размерность структуры иерархического дерева связаны через коразмерность – показатель Херста h. Этот показатель получают по выражению $2 - d = h$ [3].

Если рассматривать слои модели как пространства, то можно ввести нормы ресурсной $\|W_*\|$ и иерархической $\|W^*\|$ частей модели. Произведение этих норм по аналогии с произведением норм вещественного и p-адического числового поля [3] позволяет получить значение некоторой величины ЭМЦПП:

$$\|W_*\| \cdot \|W^*\| = c, \; c - \mathrm{const} \in W. \tag{9}$$

Нетрудно увидеть, что нормы в выражении (9) связаны гиперболической зависимостью.

4. Закон масштабирования [1, 3].

Гиперболическое распределение ЭМЦПП позволяет найти связь между его расчетной величиной (W) и величиной, полученной по приборам учета (V) [1,3]. Площади электропотребления, ограниченные гиперболами, вычисляют по выражениям:

$$\int_1^a \frac{dw}{w} = \ln W, \qquad \int_1^a \frac{dv}{v} = \ln V.. \tag{10}$$

Если существует отношение – константа в виде:

$$d = \frac{\ln W}{\ln V} - const, \tag{11}$$

то выражение (11) позволяет записать закон масштабирования ЭМЦПП в виде:

$$W = V^d. \tag{12}$$

Закон масштабирования ЭМЦПП можно получить также через теорию категорий. Элементарный топос – есть декартово замкнутая, конечно полная категория, с классификатором подобъектов. Он имеет вид:

$$\begin{array}{ccc} V & \xrightarrow{f} & W \\ \downarrow ! & & \downarrow \chi \\ 1 & \xrightarrow{T} & \Omega \end{array}, \tag{13}$$

где V, W – фактическое и расчетное пространство ЭМЦПП, соответственно; 1 и Ω – конечный объект и классификатор подобъектов, соответственно. Знаки $f, T, !, \chi$ обозначают соответственно – исходная стрелка, стрелка «истина», единственная стрелка, характеристическая стрелка [3].

Из декартовой замкнутости элементарного топоса (13) следует существование декартово замкнутого выражения:

$$\begin{array}{ccc} v\times c & \to & v \\ \downarrow & & \downarrow \\ w & \to & w^{c} \end{array}, \qquad (14)$$

На основе выражения (14) можно записать:

$$\hom(v\times c, w) \cong \hom(v, w^{c}), \qquad (15)$$

где $v\in V$, $w\in W$, c– показатель степени, $v\times c$ – декартово произведение.

Другими словами, из выражений (14) и (15) видно, что топос содержит экспоненты. Тогда существует степенная связь расчетного и фактического (приборного) ЭМЦПП в виде:

$$V = W^{C}. \qquad (16)$$

Коэффициент подобия является инвариантом гиперболических распределений. Он связан с отношением площадей ЭМЦПП (12):

$$d = C^{-1} = \log_{V} W. \qquad (17)$$

5. Методика поэлементного расчета ЭМЦПП [3].

Расчет ЭМЦПП производят по выражениям (1) и (2).

Расчет коэффициента подобия (инварианта цехового ЭМЦПП) производят на основании данных предыдущего месяца по выражению:

$$d = \left(\ln W\right)\left(\ln V\right)^{-1}, \qquad (18)$$

где V – электропотребление цеха за месяц работы, соответствующее расчетному электропотреблению W, по приборам учета, кВт·ч.

Уточненное ЭМЦПП, кВт·ч, производят по выражению:

$$V = W^{\left(d^{-1}\right)}. \qquad (19)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорьков, С. А. Методология принципа самоподобия в исследовании электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия / С. А. Хорьков // Фёдоровские чтения 2020: L Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк., Москва 17-20 нояб. 2020 г. / М-во науки и ВО РФ, Национ. исслед. ун-т "МЭИ" ; под общ. ред. Ю. В. Матюшиной. – М.: Издат. дом МЭИ. – 2020. – С. 65-72.
2. Маврикиди, Ф. И. Системно-ценологический подход к математическому моделированию техногенных объектов/ Ф. И. Маврикиди, С. А. Хорьков // Управление техносферой. 2020. – Т. 3, вып. 3. – С. 401-426.
3. Хорьков, С.А. Проблема расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, модели и методики для ее решения : монография. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2019. – 124 с.
4. Коблиц, Н. *P*-адические числа, *p*-адический анализ и дзета-функции. / Пер. с англ. В.В. Шокурова. Под ред. и с предисловием Ю.И. Манина. – М.: Мир, 1981. – 192с.

16. ТЕОРИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИ РАСЧЕТЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ЦЕХА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ*

Аннотация. Расчет электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия базируется на законе масштабирования расчетного и приборного электропотребления. Одной из проблем постороения степенных (гиперболических) распределений расчетного электропотребления является проблема обусловленная нечеткостью и неопределенностью базы данных электрооборудования цеха. Для выяснения влияния этих характеритик базы данных на методику расчета, опирающуюся на закон масштабирования, следует привлечь теорию возможностей. Одной из её основных характеристик является функция принадлежности возможности. Установлено, что она имеет степенной (гиперболический) вид, который не зависит от неопределенности и нечеткости базы данных. Поскольку этот её вид имеет особое значение для установления закона масштабирования, то следует утверждать, что указанные свойства базы данных не влияют на методику и результат расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия.

Ключевые слова: расчет электропотребления, многономенклатурный цех, теория возможностей, база данных, нечеткость, неопределенность, закон масштабирования, гиперболическое распределение.

Результат поэлементного расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия (ЭМЦПП) позволяет осуществлять прогнозирование, нормирование, представление и анализ структуры электропотребления цеха, а также формирование отчетности по составляющим баланса электропотребления. В [1,2] изложена методика поэлементного расчета месячного ЭМЦПП.

---

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. Теория возможностей при расчете электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков // Фёдоровские чтения 2019 : XLIX Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк., Москва 20-22 нояб. 2019 г. / М-во науки и ВО РФ, Национ. исслед. ун-т "МЭИ" ; под общ. ред.: Б. И. Кудрина, Ю. В. Матюниной. – Москва : Издат. дом МЭИ, 2019. – С. 90-94.

Для расчета ЭМЦПП формируют базу данных (БД), включающую номинальную мощность оборудования, коэффициент загрузки оборудования по мощности, время выполнения операций при изготовлении изделий, планируемое количество выпускаемых изделий и данные для расчета потерь электроэнергии в цеховой сети электроснабжения

Методика расчета позволяет получить величину ЭМЦПП и ранжированное распределение его составляющих. Полагая, что расчетная и фактическая величина ЭМЦПП имеют одинаковое степенное (гиперболическое) распределение, считают, что они связаны законом масштабирования, получают инвариант закона масштабирования этих величин и уточненное значения величины ЭМЦПП.

Расчет ЭМЦПП базируется на законе масштабирования, который лежит в основе фрактальной геометрии. Этот закон опирается на нетрадиционные разделы теории вероятности, а именно на безгранично делимые распределения и на ветвящиеся процессы. Для понимания инженерами оснований закона масштабирования требуется делать соответствующие пояснения.

Существует ещё одна проблема, требующая для своего решения нетрадиционного подхода. Она также связана с анализом неопределенности, но её основания отличаются от оснований теории вероятности. Они лежат в области теории возможностей [3]. Эта проблема обусловлена нечеткостью и неопределенностью БД электрооборудования цеха. Указанные характеристики БД обусловлены как отсутствием точных коэффициентов загрузки по мощности для некоторых видов оборудования, так и большим объемом данных, правильность которых достаточно трудно проконтролировать[1]. В тоже время при формировании БД сложной системы следует принимать во внимание некоторый компромисс между точностью и неточностью данных. Неопределенность БД выражают через степень уверенности в том, что данные правильно отражают действительное состояние дел. Меру неопределенности характеризуют через монотонность по включению подмножеств и через непрерывность последовательности вложенных друг в друга подмножеств, включенных в БД. Нечеткость БД характеризуют через размытость границ содержания её подмножеств. Эту характеристику БД можно выразить через градации математического отношения принадлежности теории множеств[3].

Влияют ли неопределенность и нечеткость БД на методику и результат расчета ЭМЦПП? Зависит ли закон масштабирования и гиперболическое распределение ЭМЦПП от этих свойств? Ответ на эти вопросы можно получить при помощи теории возможностей.

Теория возможностей в своих основах является билингвой, объединяющей лингвистическую переменную естественного языка и вещественное число, т.е. соединяет число и слово, имеющих единую алфавитную основу. Она является дополнительной к теории вероятностей и основана на двойственности возможности и необходимости. Пространство возможностей по аналогии с пространством вероятностей включает множество событий, алгебру множеств, меру возможности и меру необходимости. Теория возможностей излагается в терминах полноты знания и информационного содержания событий и поэтому удачно прилагается к БД электрооборудования цеха. Традиционное представление теории возможностей, имеет тот недостаток, что не учитывает бинарность основ теории, и в итоге сводится к модели деформируемого твердого тела, которая препятствует введению билингвы возможностей в базовое пространство теории[4] .

Моделью, имеющей два не сводимых друг к другу основания, является паранепротиворечивая модель ЭМЦПП[1,2]. Эта модель изоморфна модели числовой асимметрии, основанной на двух пополнениях поля рациональных чисел, результатом которых являются поля вещественных и p-адических чисел [5]. Эти числа не могут быть выражены друг через друга. Паранепротиворечивая модель объединяет аддитивную и мультипликативную составляющие ЭМЦПП. Она позволяет получить степенное (гиперболическое) распределение составляющих ЭМЦПП.

Рассмотрим теорию возможностей на основе литературы [3,5] и с учетом паранепротиворечивой модели ЭМЦПП. Теория возможностей базируется на решетчатых (сетевых) представлениях, отображение которых можно усмотреть и в уровнях системы электроснабжения промышленного предприятия [6]. Основными операциями решетки являются: *join* (объединение верхняя грань) и *meet* (пересечение, нижняя грань). Мера возможности вводится аксиоматически и её аксиомы совпадают с аксиомами ультраметрики *p*-адических чисел паранепротиворечивой модели. Приведем эти аксиомы:

1. Мультипликативная версия, измеряющая размер составляющих на уровне электропотребления

$$|\xi|_p^{\alpha} = p^{-\alpha\cdot n}, \qquad \alpha > 0 \Rightarrow |\xi+\eta|_p^{\alpha} \le \max\left\{|\xi|_p^{\alpha}, |\eta|_p^{\alpha}\right\} \tag{1}$$

2. Аддитивная версия, определяющая координату уровней ветвления (делимости) электропотребления

$$\nu_p(\xi) = ord_p(\xi) = -n = -\ln|\xi|_p^{\alpha} \Rightarrow \nu_p(\xi+\eta) \ge \min\left\{\nu_p(\xi), \nu_p(\eta)\right\}. \tag{2}$$

Эти соотношения связывают теорию возможностей с *p*-адикой и позволяют заменить в ней вещественнозначное содержание на *p*-адическое.

Для множества $A \subset Z_2$ функция распределения возможностей $\pi(\xi), \xi \in A$ имеет вид:

$$\pi(\xi) = |\xi|_p^{\alpha}, \qquad \xi \in A, \qquad \alpha > 0 \tag{3}$$

Мера возможности для события бесконечного множества *A* имеет вид:

$$\Pi(A) = \sup\{\pi(\xi) : \xi \in A\} \tag{4}$$

Свойства меры возможности определяют расчетной сеткой. Для любых $A, B \subset Z_2$ выражения возможностей для объединения и пересечения множеств имеют вид

$$\Pi(A \cap B) \le \min\{\Pi(A), \Pi(B)\} = \Pi(meet\{A, B\}) \tag{5}$$

$$\Pi(A \cup B) \ge \max\{\Pi(A), \Pi(B)\} = \Pi(join\{A, B\})$$

Первое из (5) вычисляют в Z_2, второе – в *R*.

Функция распределения меры необходимости имеет вид

$$N(\xi) = |inv\xi|_{\infty} \equiv |\xi|_{\infty} \tag{6}$$

Мера необходимости для события бесконечного множества A имеет вид:

$$S \in R \Rightarrow N(S) = \min|\xi|_{\infty} \tag{7}$$

Свойства меры необходимости имеют вид:

$$N(A \cup B) \geq \min\{N(A), N(B)\} = N(join\{A, B\}) \tag{8}$$
$$N(A \cap B) \leq \max\{N(A), N(B)\} = N(meet\{A, B\})$$

Связь мер возможности и необходимости устанвливают через инволюцию.

Величину электропотребления, представленного через рациональное число, выражают через теорему Островского:

$$w = |\xi|_{\infty} \cdot |\xi|_{2}^{\alpha}, \qquad \xi \in Z_2 \tag{9}$$

Электропотребление множества W получают объединением элементарных электропотреблений

$$W = \bigcup_{\xi} w(\xi) = \bigcup_{\xi} N(\xi) \cdot \Pi(\xi) \tag{10}$$

Выражение (9) позволяет считать, что функция принадлежности возможности (3) имеет степенной (гиперболический) вид. Теоретически её можно найти через p-адическое число.

Поскольку степенной (гиперболический) вид функции распределения возможности не зависит от неопределенности и нечеткости БД, а именно этот её вид имеет особое значение для установления закона масштабирования, лежащего в основе методики расчета ЭМЦПП, то следует утверждать, что указанные свойства БД не влияют на методику и результат расчета ЭМЦПП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорьков, С.А. Числовая модель электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия //Промышленная энергетика. 2018. №5.С.44–51.
2. Хорьков, С.А. Об использовании числовой модели техноценоза для расчёта месячного электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия // Промышленная энергетика. 2018. №7. С.47–50.

3. Дюбуа, Д. Теория возможностей. Приложения к представления знаний в информатике / Д. Дюбуа, А. Прад // Пер с фр. М.: Радио и связь, 1990. 288с.
4. Изотов, А.Д.Теория возможностей в материаловедении/ А.Д. Изотов, Ф.И. Маврикиди//Прикладная физика и математика. 2018. № 1. С. 51–58.
5. Маврикиди, Ф.И. Числовая асимметрия в прикладной математике. Фракталы, *p*-адические числа, апории Зенона, сложные системы. – М.: Дельфис,2015. – 416с.
6. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 672с.
7. Хорьков, С. А. Теория возможностей при расчете электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков // Фёдоровские чтения 2019 : XLIX Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк., Москва 20-22 нояб. 2019 г. / М-во науки и ВО РФ, Национ. исслед. ун-т "МЭИ" ; под общ. ред.: Б. И. Кудрина, Ю. В. Матюниной. – Москва : Издат. дом МЭИ, 2019. – С. 90-94.

17. МЕТРИКА И УЛЬТРАМЕТРИКА ПРОСТРАНСТВА СОПРОТИВЛЕНИЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ*

Аннотация. Отмечено, что структура системы электроснабжения промышленного предприятия является иерархической многоуровневой, а графики напряжений и сопротивлений этой системы имеют степенной вид. Если считать, что сопротивление является расстоянием между любыми двумя точками пространства, между которыми определено напряжение, то оно должно удовлетворять условиям функции-метрики: положительности, симметрии, треугольника. Показано, что на каждом отдельном уровне системы электроснабжения метрика имеет обычный треугольник, а в многоуровневой системе треугольник является усиленным. Пространство с усиленным треугольником является ультраметрическим. Показано, что закон Ома выполняется на обычном метрическом пространстве, но не выполняется на ультраметрическом пространстве. Выделение метрики и ультраметрики пространства сопротивлений, позволяет рассчитывать количество электропотребления крупного цеха через его составляющие с учетом степенной структуры этого потребления. Совместное рассмотрение метрики и ультраметрики базируется на природной двойственности явлений нашего мира, воплощенной в числовой асимметрии

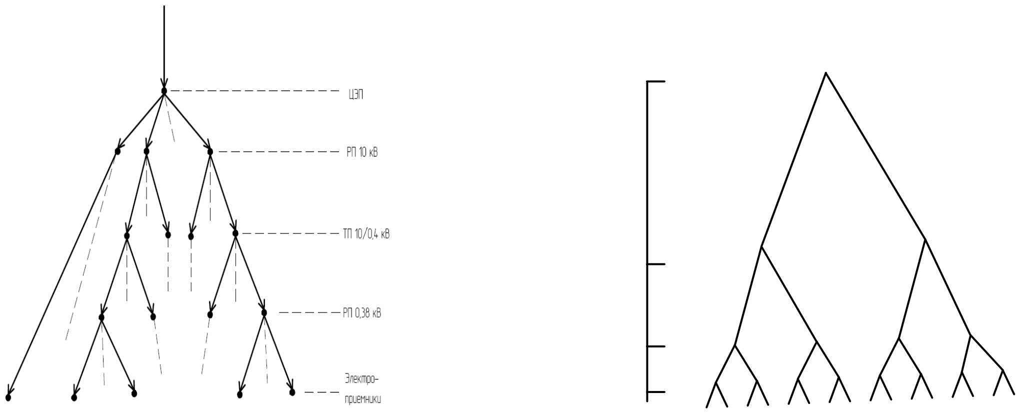
Ключевые слова: система, ценоз, математическое моделирование, числовая асимметрия, фрактальная геометрия, *p*-адические числа.

Профессор Б.И. Кудрин в устных выступлениях, научных статьях и монографиях неоднократно утверждал, что в системе электроснабжения промышленного предприятия (электрическом техноценозе) не выполняется закон Ома. При этом, кроме общенаучных положений, опирающихся на третью научную картину мира, количественные выкладки, на эту тему, найти в его работах достаточно сложно [1]. Попытаемся отыскать такие основания, которые

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. Метрика и ультраметрика пространства сопротивлений системы электроснабжения промышленного предприятия [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков // Фёдоровские чтения 2022 : LII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (с элементами науч. шк. для молодежи), Москва 15-18 нояб. 2022 г. / М-во образования и науки РФ, Национ. исслед. ун-т "МЭИ" ; под общ. ред. Ю. В. Матюниной. – Москва : Издат. дом МЭИ, 2022. – С. 247-250.

позволяют сделать вышеприведенное утверждение профессора Б.И. Кудрина очевидным.

На рис. 1 приведена структура иерархической многоуровневой системы электроснабжения промышленного предприятия1УР – 5УР и её модель в виде 2-адического числа. В общем случае система электроснабжения промышленного предприятия может иметь шесть уровней 1УР – 6УР. К ним относят: уровень приемников низкого напряжения (1УР), уровень цеховых распределительных щитов и распределительных пунктов, щитов управления и шкафов силовых (2УР), уровень распределительных устройств трансформаторных подстанций (3УР), уровень высоковольтных распределительных устройств, шины распределительных подстанций (4УР), уровень шин главных понизительных подстанций (5УР), уровень границы раздела промышленного предприятия и энергоснабжающей организации (6УР). В этой системе на различных уровнях могут быть использованы стандартные номинальные напряжения трехфазного тока частотой 50 Гц, измеряемые в кВ: 0,22; 0,38; 0,66; 6; 10; 20; 35; 110; 220. Передачу электрической энергии к электрическим приемникам осуществляют при помощи кабелей, проводов, и шнуров. Медные и алюминиевые жилы, предназначенные для кабелей и проводов неподвижной прокладки, подразделяют на классы I – III, а для кабелей проводов и шнуров подвижной прокладки – классы IV – VI. В качестве примера, приведем сведения, характеризующие токопроводящие медные жилы кабелей, проводов и шнуров, которые имеют номинальной сечение, измеряемое в мм^2 и электрическое сопротивление 1 км круглых медных луженых одножильных жил кабелей класса II, проводов и шнуров при температуре 20^{0}С, Ом, указанное в скобках: 0,75(24,7); 1(21,2); 1,5(13,6); 2,5(7,6); 4(7,41); 6(3,05); 10(1,81); 16(1,14); 25(0,719); 35(0,519); 50(0,383); 70(0,265); 95(0,191); 120(0,154); 150(0,23); 185(0,098); 240(0,0747) [2].



а б

Рис. 1. Структура иерархической системы промышленного предприятия1УР – 5УР, её модель в виде 2-адического числа: а – дерево-схема системы электроснабжения промышленного предприятия; б – схема целого 2-адического числа.

Построим ранжированные графики, часто встречаемых напряжений 0,22; 0,38; 0,66; 6; 10; 20; 35 кВ и сопротивлений 3,05; 1,81; 1,14; 0,719; 0,519; 1,81; 1,14 Ом для сечений 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70мм^2, соответственно.

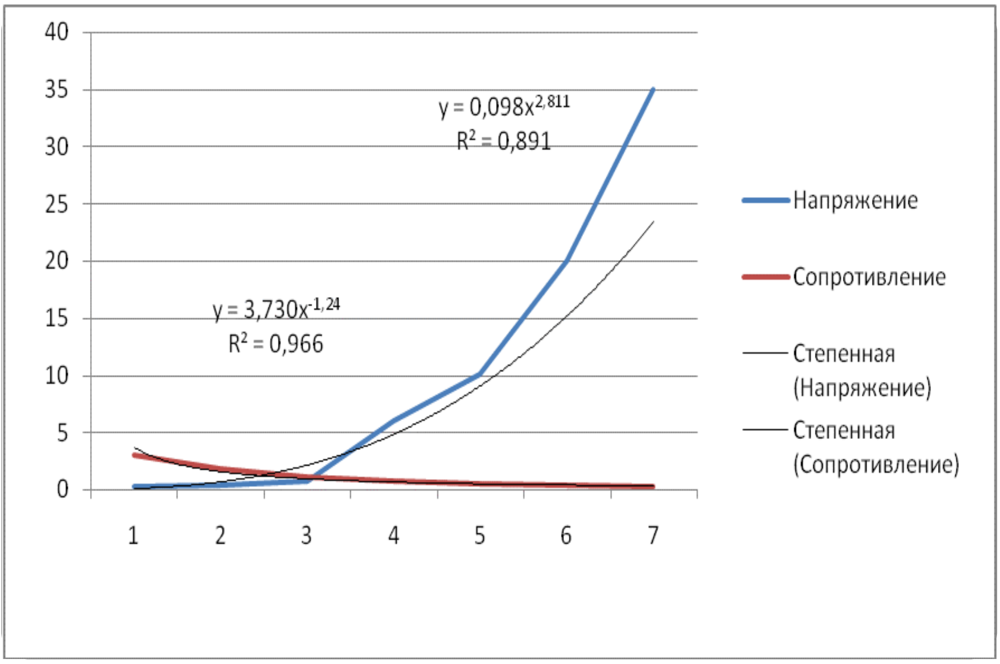


Рис. 2. Ранжированные графики напряжений (в диапазоне 0,22…35 кВ) и сопротивлений (в диапазоне сопротивлений 3,05… 1,14 Ом для сечений 6…70 мм2), их аппроксимации и выражения трендов

Из графиков напряжений и сопротивлений рис.2 видно, что они имеют степенной вид. На основе этих графиков запишем выражения для тока

$$I = U^n \cdot \rho^{-s} \to I^{\frac{1}{n}} = U \cdot \rho^{-\frac{s}{n}}. \quad (1)$$

В выражении (1) принято, что сопротивления в системе электроснабжения соединены последовательно. Если считать, что сопротивление является расстоянием между любыми двумя точками пространства x, y, между которыми определено напряжение (разность потенциалов), то оно должно удовлетворять условиям функции-метрики $\rho(x, y)$: 1) положительности, 2) симметрии, 3) треугольника:

При s=n=1 для (1) имеют: 1) $\rho(x, y)) = 0$ тогда и только тогда, когда $x = y$; 2) $\rho(x, y) = \rho(y, x)$; 3) $\rho(x, y) = \rho(x, z) + \rho(z, y)$. Из этих условий следует, что закон Ома выполняется на обычном метрическом пространстве.

При $s \cdot n^{-1} \to \max$ первые два условия метрики остаются прежними, а третье условие трансформируется в условие усиленного треугольника, а именно, его получают в виде $\rho(x, y) \le \max(\rho(x, z), \rho(z, y))$. Доказательство этого положения приведено в [3]. Усиленный треугольник является равнобедренным треугольником, основание которого не превосходит его стороны. Метрическое пространство, отвечающее условию усиленного треугольника, называют ультраметрическим пространством.

Очевидно, что закон Ома в традиционной форме не выполняется на ультраметрическом пространстве или, несколько иначе, закон Ома не выполняется на метрическом пространстве, если напряжение и сопротивление имеют степенное распределение.

Свойства ультраметрического пространства не отвечают традиционной интуиции. Эти свойства могут быть интерпретированы при помощи топологического шара. В ультраметрическом пространстве любая точка шара является его центром. Если два шара имеют общую точку, то один шар находится в другом. Шары, не имеющие общих точек, не пересекаются. Шар может иметь бесконечное число радиусов. Шар ультраметрического пространства одновременно являются открытым и замкнутым; при взгляде изнутри он открыт, при взгляде снаружи – замкнут.

Ультраметрическое пространство – это пространство иерархической структуры. Оно не является архимедовым, т.е. в нем не выполняется аксиома Архимеда. Это значит, что в нем есть расстояния, которые невозможно измерить при помощи других расстояний. Практическое значение свойства неархимедовости минимально, однако неархимедов анализ имеет большое значение. Его приложения имеют место в тех отраслях знаний и практики, которые могут быть структурированы иерархически и описаны p-адическими числами. Такие свойства имеют ценозы, обладающие свойствами фрактальности и негауссовости [4]. Основная характеристика фракталов есть самоподобие, негауссовость тесно связана с безграничной делимостью пространства. Выделение метрики и ультраметрики, позволяет рассчитывать количество электропотребления крупного цеха через его составляющие с учетом степенной структуры этого потребления [5]. Совместное рассмотрение метрики и ультраметрики базируется на природной двойственности явлений нашего мира, воплощенной в числовой асимметрии [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин, Б. И. Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические Н-распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта / Б. И. Кудрин: В кн.: Философские основания технетики. Вып.19. "Ценологические исследования". – М.: Центр системных исследований, 2002. – С.357-412.
2. Белоруссов, Н.И. Электрические кабели, провода и шнуры/ Н.И. Белоруссов, А.Е. Саакян, А.И. Яковлева; под общ. ред. Н.И.Белоруссова. – 4-е изд.,переаб. и доп. – М.: Энергия, 1979.–416с.
3. Гвишиани, А.Д. Метрические и ультаметрические пространства сопротивлений/ А.Д. Гвишиани, В.А. Гурвич, УМН, 1987, том 42, выпуск 6 (258).– С.187-188.

4. Хорьков, С.А. Ценозы, системы и их модели: монография./ С.А.Хорьков, Ф.И. Маврикиди.– Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2021.– 92с.
5. Хорьков, С. А. Проблема расчёта электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, модели и методики для её решения: монография /С. А. Хорьков.– Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2019. – 128с.
6. Маврикиди, Ф.И. Числовая асимметрия в прикладной математике. Фракталы, *p*-адические числа, апории Зенона, сложные системы/ Ф.И. Маврикиди. – М.: Дельфис, 2015. – 4 16с.

18. ЧИСЛОВАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ЦЕХА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ*

Аннотация. Уточнено понятие числовой модели электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия через рациональные, вещественные и целые p-адические числа. Числовая модель, кроме p-адической, включает вещественную часть. Раскрыто содержание двойного нормирования и приведены четыре интерпретации числовой модели, связанные с иерархической структурой распределения электрической энергии в многономенклатурном цехе.

Ключевые слова: система, ценоз, математическое моделирование, числовая асимметрия, фрактальная геометрия, p-адические числа.

В работе [1] приведено обоснование закона масштабирования расчётного и приборного электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия. Для этой цели разработана числовая p-адическая модель электропотребления. Однако в работе [1] недостаточно внимания уделено отношению вещественной и p-адической частей числовой модели, а также не раскрыты дополнительные её возможности, имеющие отношения к техноценологическим основаниям науки об электрическом хозяйстве.

В данной работе уточняют понятие числовой модели электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, раскрывают содержание её двойного нормирования и приводят новые интерпретации модели, связанные с иерархической структурой распределения электрической энергии в многономенклатурном цехе.

Новая числовая модель, кроме p-адической, включает вещественную часть. Разработку модели многономенклатурного цеха промышленного предприятия производят на основе результатов, полученных в работах [1,2,3].

---

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. Числовая модель электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия / С. А. Хорьков // Промышленная энергетика. - 2018. - № 5. – С. 44-51.

Результаты расчёта электропотребления многономенклатурного цеха в [2,3] получены в виде расчетного электропотребления (1) и его степеного (гиперболического) распределения (2):

$$W = \sum_{j=1}^{n} W_j \, , \tag{1}$$

где W, W_j – расчётное месячное электропотребление и его составляющая, соответственно.

$$W(i) = W_1 \cdot i^{-\alpha} \, , \tag{2}$$

где W_1 – константа электропотребления, i – ранг, α – показатель степени степенного (гиперболического) распределения.

Проблема расчёта электропотребления многономенклатурного цеха заключается в том, что расчётное электропотребление всегда превышает потребление, полученное по приборам учета.

$$W > V \, , \tag{3}$$

где W, V – расчётное и приборное месячное электропотребления, соответственно.

Проблема создаёт препятствие для разработки методики расчета электропотребления многономенклатурного цеха [2].

Возможными причинами возникновения проблемы являются: 1) ошибки при формировании базы данных, используемой при расчёте электропотребления; 2) неправильность применяемых метрик; 3) не учет связей между потребителями электрической энергии. Причем балансовое выражение электропотребления (1) зависит главным образом от причин, отмеченных цифрами 1 и 2, а степенное (гиперболическое) выражение (2) от причин – 3.

Из выражения (1) следует, что электропотребление цеха складывают из частей, т.е. оно аддитивно и конечно. Выражение для степенной функции (гиперболы) электропотребления (2) мультипликативно и не имеет естественной границы. При этом возникает противоречие между полученными результатами. Одно выражение для электропотребления (1) конечно, а другое – (2) может быть ограничено лишь искусственным путём.

Разрешить указанное противоречие позволяет модель электропотребления многономенклатурного цеха. В символьной форме записи модель имеет вид:

$$W_* \leftarrow W \rightarrow W^*, \tag{4}$$

где W_*, W^* – ресурсный или энергетический и иерархический или сетевой образ электропотребления цеха, соответственно; $\leftarrow, \rightarrow$ – знаки отображения.

Модель электропотребления объединяет ресурсную и иерархическую части. Ресурсная часть модели позволяет получить баланс электропотребления цеха, иерархическая часть – зафиксировать границы и связи между потребителями электроэнергии. Ресурсная часть имеет аддитивные, а иерархическая часть – мультипликативные координаты. Запись отношения координат модели (4) аналогична записи сопряженных величин в квантовой механике [4].

Модель электропотребления многономенклатурного цеха (4) имеет геометрическую интерпретацию в виде гиперболоида и его сечений. Причем моделью пространства электропотребления является двуполостный гиперболоид, аналогами сопряженных величин – сечения в виде окружностей и гипербол [2].

Числовая форма модели (4) имеет вид:

$$R \leftarrow Q \rightarrow Z_p, \tag{5}$$

где Q, R, Z_p – поле рациональных, вещественных и целых p-адических чисел, соответственно.

Числовая модель объединяет вещественное и p -адическое представление рационального числа. Из сопоставления выражений (4) и (5) следует, что ресурсную часть модели (4) моделируют вещественными числами выражения (5), а иерархическую – p -адическими числами [5, 6].

Рациональное число в математике представляет отношение двух целых чисел и потому оно есть «физическое» число. С его помощью производят измерения физических величин. Физическому параметру электропотребления сопоставляют рациональное число на шкале прибора измерения. С этой точки зрения вещественное и p - адическое числа есть модели рационального числа. Рассмотрим вещественные и p -адические числа выражения (5), ориентируясь на работы [5,6].

Вещественные числа в математическом анализе получают пополнением поля рациональных чисел. Под пополнением метрического пространства понимают присоединение к нему пределов фундаментальных последовательностей. Определение пределов и фундаментальных последовательностей осуществляют в терминах абсолютной величины числа, обладающей свойствами нормы. Другими словами, пополнение осуществляют путем нормирования поля рациональных чисел. Норма позволяет индуцировать на вещественном поле метрику. Если поле рациональных чисел является дискретным, то поле вещественных чисел – непрерывным [5,6].

P-адические числа получают пополнением поля рациональных чисел до непрерывного множества за счет усиленной нормы. Этой норме соответствует особая ультраметрика. Вещественные и p-адических числа имеют позиционную форму записи и могут быть представлены в виде числового ряда. Отличие между ними заключается в топологии. Для вещественных чисел она связная, для p -адических – несвязная. В ультраметрике умножение на p есть сжатие. Поэтому с точки зрения математического моделирования поле p -адических чисел является двойственным объектом. Через рекурсию сжимающих отображений оно есть модель материи или энергии – фрактал, а через числовой ряд – числовая система. С геометрической точки зрения p -адическое число представляет собой иерархическое дерево с множеством уровней ветвления и с большой кроной. Величины p -адических чисел определяют метриками двух видов. Кроме ультраметрики, представляющей мультипликативную версию (произведение простых чисел в степени целого числа), имеется метрика, представляющая аддитивную версию (сумма степеней простого числа). Версии метрик p -адических чисел связаны логарифмической зависимостью. [5,6]. При числовом моделировании электропотребления многономенклатурного цеха предпочтение отдают мультипликативной версии метрики p-адического числа.

Таким образом, числовая модель электропотребления многономенклатурного цеха включает два вида пополнения рациональных чисел, которые следует рассматривать совместно. Вещественная и p -адическая части числовой модели позволяют ввести собственные нормы и соответствующие им метрики.

Аддитивная метрика на поле вещественных чисел позволяет оценить близость составляющих электропотребления. Мультипликативная метрика на поле p -адических чисел – близость границ и связей на каждом уровне ветвления иерархического дерева.

Теоретической основой, приведенного вывода, является теорема Островского, которая представляет собой более раннюю версию теоремы Гёльдера о двух типах измерительных шкал – аддитивной и мультипликативной. Из теоремы Островского следует, что поле рациональных чисел допускает, только два вида нормирования – обычный (архимедов) и – p -адический (неархимедов) модуль [5,6]. Естественность двойного нормирования числовой модели позволяет записать любое значение электропотребления, представленное рациональным числом через сопряженные метрики:

$$|y|_\infty \cdot |x|_p^d = c,\ c \in Q, \tag{6}$$

где $|y|_\infty, |x|_p^d$ – метрика на поле вещественных чисел и метрика на поле p -адических чисел, соответственно; d – размерность сети распределяющей ресурс.

Произведение метрик задает отношение дополнительности и неопределенности. Дополнительность характеризует пополнение поля модели рациональных чисел парой неотделимых и не сводимых друг к другу метрик. Неопределенность означает, что две метрики одновременно определить нельзя.

В тоже время для любого рационального числа и заданной метрики p -адического числа определяют норму вещественного числа. Более того, для одного большого рационального числа, можно задать множество метрик p -адического числа и получить множество норм (метрик) вещественного числа. Формальное выражение для этой связи получают из (6), оно представляет степенную функцию в виде:

$$|y|_\infty = c|x|_p^{-d} \tag{7}$$

Размерность сети, распределяющей ресурс, существенно влияет на вид степенной функции (7) и соответствующего ей графика, при $d=1$ имеют гиперболу.

Если записать выражение (6) при условии $d = (\ln c|y|_\infty^{-1}) \cdot (\ln|x|)^{-1} = const$ в виде:

$$|x|_p^d = c|y|_\infty^{-1} \tag{8}$$

то получают форму для закона масштабирования метрик [1,2].

Таким образом, числовая модель электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия имеет неотделимые друг от друга вещественные и p-адические метрики. Поэтому модель имплицитно содержит степенное (гиперболическое) распределение составляющих электропотребления и закон масштабирования между разными ресурсами, распределенными в иерархической сети.

Приведем интерпретации числовой модели электропотребления многономенклатурного цеха.

Интерпретация 1. На рис.1 представлено иерархическое *2*-адическое дерево с 4-мя уровнями ветвления. Оно является демонстрационной моделью границ и связей между потребителями электрической энергии многономенклатурного цеха. Уровни ветвления упорядочивают естественным образом, их нумеруют числами натурального ряда. Вершины ветвлений, находящиеся на одном уровне естественным образом упорядочить нельзя. В табл.1 приведены значения уровней ветвления, количества элементов на уровне ветвления, инверсии и логарифмы этих значений для *2*-адического числа с 9-ю уровнями ветвления.

На основе данных табл. 1 построены графики на рис.2, 3, 4. Из графиков и таблицы видно, что иерархическому дереву соответствует линейная (прямая), степенная (гипербола), экспоненты или их логарифмы. Причем логарифм линейной (прямой) линии симметричен логарифму степенной (гиперболы), а логарифм экспоненты от количества элементов на уровне ветвления симметричен логарифму экспоненты от размеров элементов на этом уровне. Таким образом, линейная (прямая), степенная (гипербола), экспоненты и их логарифмы являются вторичными образами (и инвариантами) иерархического дерева.

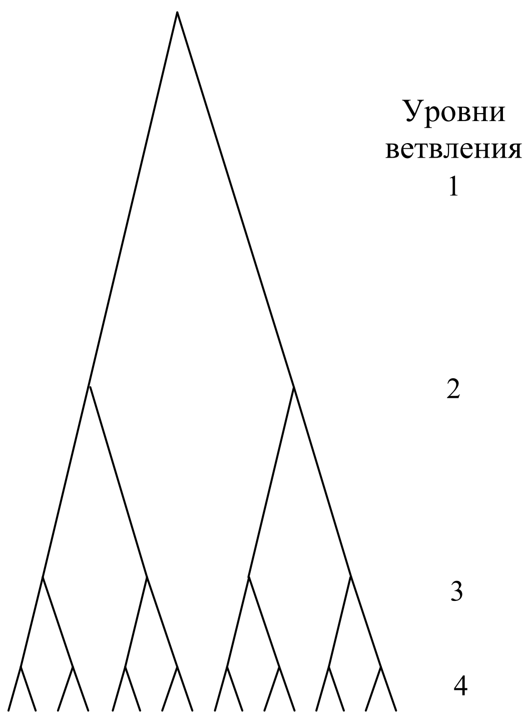


Рис. 1. Иерархическое 2-адическое дерево с 4 уровнями ветвления

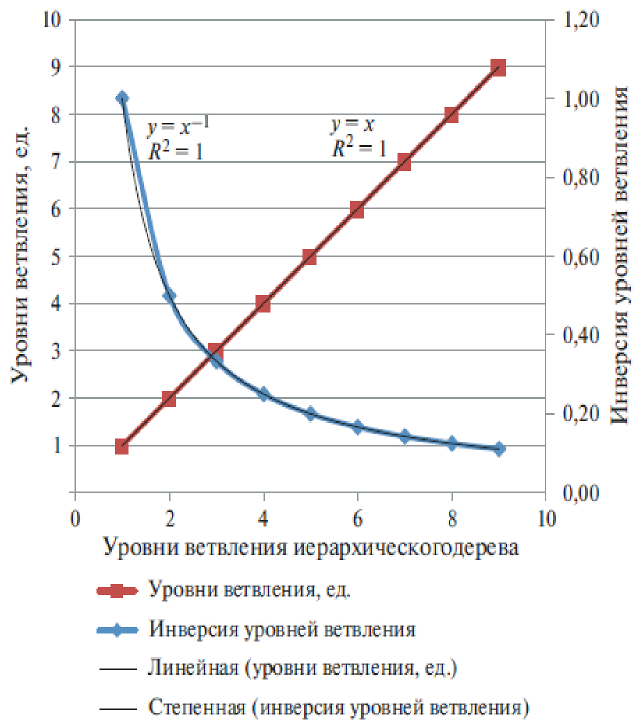


Рис. 2. Уровни ветвления линейная (прямая) и инверсия уровней ветвления (гипербола) иерархического 2-адического дерева с 9-ю уровнями ветвления

Интерпретация 2 . Если *2*-адическая сеть в разные моменты времени содержит (и распределяет) разные величины ресурса, то они связаны законом масштабирования. Пусть уровни деления ресурсов W и V будут равны

$d_W = \log_2 W$, $d_V = \log_2 V$, соответственно. Тогда размерность сети, распределяющей ресурс, находят через логарифм одного ресурса по основанию другого ресурса $d = d_W (d_V)^{-1} = \log_V W = const$. В этом случае связь между ресурсами выражает закон масштабирования $W = V^d$. При известных значениях W и d находят значение $V = W^{\frac{1}{d}}$ [1,2].

Табл. 1. Значения уровней ветвления, количества элементов на уровне ветвления, инверсии и логарифмы этих значений для 2-адического числа с 9-ю уровнями ветвления.

Уровень ветвления (прямая)	Количество элементов на уровне ветвления (экспонента)	Инверсия уровня ветвления (гипербола)	Инверсия количества элементов на уровне ветвления, размер элементов (экспонента)	Логарифм уровня ветвления	Логарифм количества элементов на уровне ветвления	Логарифм инверсии уровня ветвления	Логарифм инверсии количества элементов на уровне ветвления, размер элементов
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	1,00	0,50	0,00	0,69	0,00	-0,69
2	4	0,50	0,25	0,69	1,39	-0,69	-1,39
3	8	0,33	0,13	1,10	2,08	-1,10	-2,08
4	16	0,25	0,06	1,39	2,77	-1,39	-2,77
5	32	0,20	0,03	1,61	3,47	-1,61	-3,47
6	64	0,17	0,02	1,79	4,16	-1,79	-4,16
7	128	0,14	0,01	1,95	4,85	-1,95	-4,85
8	256	0,13	0,00	2,08	5,55	-2,08	-5,55
9	512	0,11	0,00	2,20	6,24	-2,20	-6,24

Если составляющие баланса электропотребления цеха записывают через q-катые моменты, то для нахождения обобщенных размерностей и мультифрактального спектра электропотребления цеха применяют мультифрактальный формализм [7].

Интерпретация 3. Для простого числа «2» на основе числовой модели (5) получают значения для вещественной и *2*-адической метрик

$2 = |2|_\infty \leftarrow 2 \rightarrow |2|_2 = 2^{-1}$. Затем вычисляют произведение и сумму этих метрик $2 \cdot 2^{-1} = 1$, $2 + 2^{-1} = 2{,}5$, соответственно. Далее нормируют выражение для суммы и получают $0{,}8 + 0{,}2 = 1$. Нормирование суммы значений показывает, что отношение метрик в левой части равенства в процентном выражении «80» к «20». Метрика, имеющая большее числовое значение, предназначена для определения (оценки) близости уровней ветвления иерархического дерева; – имеющая меньшее числовое значение – для определения (оценки) близости границ элементов на каждом уровне ветвления. Для любого простого числа больше «2» отношение метрик будет таким, что большая метрика в процентном отношении больше «80», а меньшая – меньше «20».

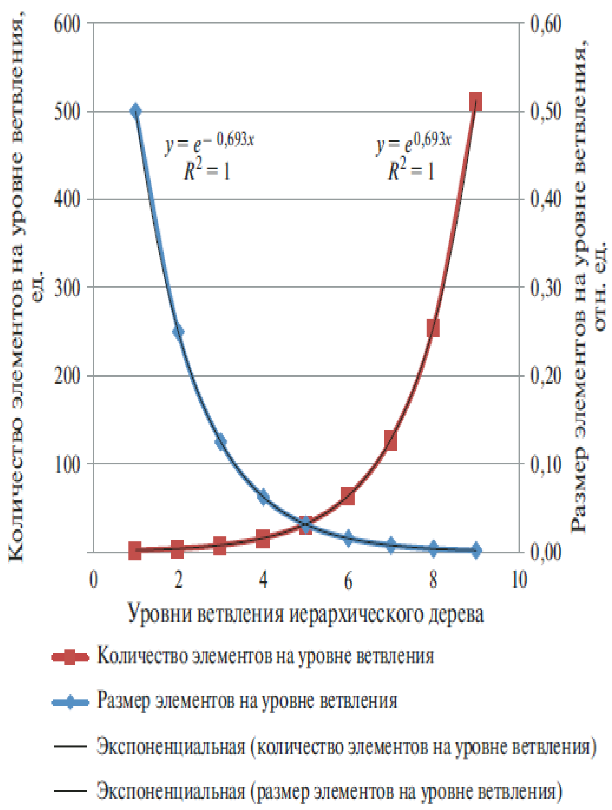


Рис.3. Количество элементов на уровне ветвления (экспонента) и размер элементов на уровне ветвления (экспонента) иерархического 2-адического дерева с 9-ю уровнями ветвления

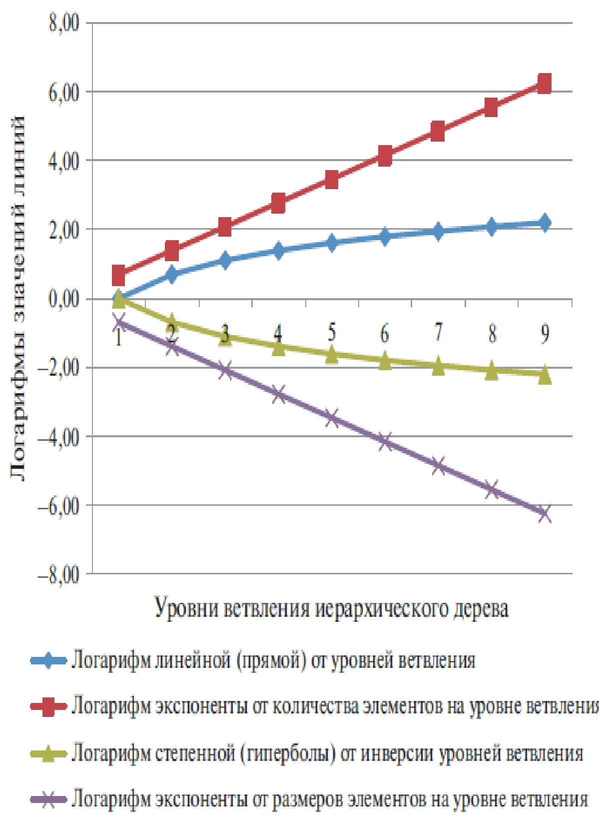


Рис.4. Логарифмы уровней ветвления, инверсии уровней ветвления, количество элементов на уровне ветвления и размер элементов на уровне ветвления иерархического 2-адического дерева с 9-ю уровнями ветвления

Например, для «3» отношение метрик будет «90» и «10», для «5» – «96,2» и «3,8», для «7» – «98» и «2», для «17» – «99,7» и «0,3». Таким образом, в отношении метрик простых чисел «80» будет своеобразным пределом больших метрик снизу, а «20» – меньших метрик сверху.

Следует предположить, что получен результат, имеющий отношение к известному принципу 80/20, который обобщает эмпирию гиперболических распределений, полученных на разнообразном статистическом материале [8].

Интерпретация 4. Результаты числового моделирования электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия целесообразно интерпретировать в терминах ценоза (техноценоза) [1,9]. В первом приближении ценоз – есть сообщество разновеликих составляющих. Учет его структуры, целостности и эволюции не исключает определения ценоза как большой системы [10]. Числовое моделирование предполагает рассматривать ценоз в двух слоях. Один слой соответствует вещественным, а другой – *p*-адическим числам. Один уровень представления ценоза – материальный или энергетический, а другой – нульмерный, иерархический, уместно сказать энтропийный. Образом нульмерного (невидимого) пространства ценоза является иерархическое дерево. Инверсия уровней деления этого дерева представляет собой ряд, аппроксимация которого имеет гиперболическое *H*-распределение. Таким образом, иерархическое дерево является своеобразной программой ценоза, степенное распределение есть его вторичный образ. Основные свойства, приписываемые ценозу: целостность, трудность установление границы, самоподобие элементов, гиперболическое *H*-распределение, слабые связи между элементами, подчинение статистики негауссовым распределениям, эволюция и другие, легко могут быть объяснены *p*-адичностью модели и её иерархическим образом. Целостность ценоза и трудность установления его границ могут быть объяснены иерархией дерева и тем, что количество его крайних веточек зависит от того, в какой момент будет зафиксирован (остановлен) процесс деления ресурса. Самоподобие элементов и масштабная инвариантность (скейлинг) их распределения, зависит от итерационного алгоритма процесса деления и вложенности уровней ветвления иерархического дерева друг в друга. Величина «слабости» связей между элементами не может быть измерена физическими методами, поскольку связи являются связями нульмерной иерархической структуры. Подчинение статистики устойчивым негауссовым распределениям обусловлено безграничным процессом деления иерархического дерева. Очевидно, что статистика на отдельных участках иерархического дерева является гауссовой. Эволюция ценоза представляет собой развёртывание реального дивергентного процесса, образом которого как раз и является иерархическое дерево.

Такой же геометрический образ имеет энтропия, отвечающая за естественное рассеивание (деление) энергии. Поверхность, на которой развертывается эволюция и энтропия, в пределе является гиперболической. Пространство ценоза является гиперболическим, поскольку иерархическое дерево, как и гиперболоид, асимптотически «сходится» к конусу. Поскольку фрактал является масштабно-инвариантной, итерационно организованной структурой, то в большинстве приведенных выше случаев p-адичность имеет смысл фрактальности.

Уместно заметить, что для моделирования ценоза Б.И. Кудриным ещё в 1973 г. была предложена эйлерова форма записи натуральных чисел через степени простых чисел [9,11]. Геометрическим образом этой модели ценоза является сложное иерархическое дерево с различными простыми числами, соответствующими различным точкам и уровням его ветвления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорьков, С.А.. Обоснование закона масштабирования расчетного и приборного электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия. Федоровские чтения-2017: XLVII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы (Москва 15-17 ноября 2017)/ под общ. ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – С.85-88.

2. Хорьков, С.А. Исследование структуры электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия с целью обоснования методики его расчета // Промышленная энергетика. 2015, №10. – С. 36-39.
3. Хорьков, С.А. Методики составления баланса и расчета рангового распределения норм электропотребления многономенклатурного производства. Промышленная энергетика, 2007, №10. – С.23-27
4. Иванов, М.Г. Как понимать квантовую механику. – Изд.2-ое, испр. и доп. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»; Институт компьютерных исследований, 2015. – 530с.
5. Коблиц, Н. *P*-адические числа, *p*-адический анализ и дзета-функции. Пер.с англ. В.В. Шокурова/ Под ред. и с предисловием Ю.И. Манина. – М.; Мир, 1981. –192с.
6. Маврикиди, Ф.И. Числовая асимметрия в прикладной математике. Фракталы, *p*-адические числа, апории Зенона, сложные системы. – М.: Дельфис. 2015. – 416с.
7. Хорьков, С.А. Мультифрактальный анализ структуры электропотребления многономенклатурного производства. – Промышленная энергетика, 2008, №8. –С27-29.
8. Кох, Р. Принцип 80/20. Пер.с англ. Д.И. Кашкан.– 2-е изд. –Мн.: ООО Попурри, 2004. – 432с.
9. Кудрин Б. И. Семнадцать лекций по общей и прикладной ценологии: монография. –3-е изд. – М.: Технетика, 2014. – 226с.
10. Блюменфельд, Л.А. Решаемые и нерешаемые проблемы биологической физики. Изд. стереотип. – М.: Едиториал УРСС, 2014. – 160с.
11. Кудрин, Б. И. Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические Н-распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта. В кн.: Философские основания технетики. Вып.19. «Ценологические исследования». – М.: Центр системных исследований, 2002. – С.357-412.

19. ЧИСЛОВАЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЦЕНОЗОВ*

Аннотация. Показано, что и числовая, и геометрическая модели техноценоза. включают ресурсный и иерархический образы, а также их метрики. Модели имплицитно содержат степенное (гиперболическое) распределение составляющих ресурса, распределенного на иерархической структуре. Но основе числовой и геометрической модели возможно получить закон масштабирования между расчетной и приборной значениями ресурса. Модели фрактальной геометрии позволяют исследовать мультифрактальный спектр размерности и память нагрузочных диаграмм техноценозов. Описанные модели проверены на практике и позволяют адекватно моделировать техноценозы электрохозяйств предприятий различного профиля и процессы нефтегазоизвлечения.

Ключевые слова*:* числовая модель, геометрическая модель, техноценоз, иерархическая структура, степенное распределение, закон масштабирования, мультифрактальный спектр.

Ценоз представляет собой сложную природную, техническую и/или информационную систему. Примерами ценозов являются биоценозы, биогеоценозы, техноценозы и сложные информационные сети. Технический ценоз – сообщество слабо связанных и слабо взаимодействующих изделий [1]. К техническим ценозам относят электрические хозяйства предприятий нефтегазодобычи и промышленных предприятий.

Разработка искусственных сложных систем по типу «природных технологий», большое разнообразие таких систем ставит практические и научные вопросы исследования, классификации и типизации техноценозов. Результаты исследования структуры техноценозов позволяют на научной основе оп-

---

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С.А. Числовая и геометрическая модели структуры техноценозов/ С.А. Хорьков. Сборник материалов всероссийской конференции с международным участием в честь 25-летия высшего нефтяного образования в Удмуртской Республике, посвященная памяти основателя нефтяного факультета УдГУ доктора технических наук Кудинова Валентина Ивановича (24.05.1931 -19.05.2017) «Современные технологии извлечения нефти и газа. Перспективы развития минерально-сырьевого комплекса (российский и мировой опыт)»17-19 мая 2018 года. – Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет». – 2018. – с.380-388.

тимизировать их структуру, проектировать, эксплуатировать, ремонтировать и прогнозировать входящее в их состав оборудования, а также разрабатывать технологические связи и режимы.

В техноценозах распределён материальный, энергетический и/или информационный ресурс. Количество элементов и связей в ценозе достигает десятки и сотни тысяч. Особенностью ценозов является то, что ресурсы распределены через иерархические сети, а их уровни имеют степенное распределение. Уровни иерархии функционирующих техноценозов, как правило, установлены, а ресурсы могут быть измерены. Однако нерешенными остаются вопросы проектирования техноценозов и расчета их параметров. Причем расчет (и прогноз) таких параметров как нагрузка, количество потребляемой электрической энергии и её удельные расходы на выпуск продукции является проблемой как для этапа проектирования ценозов, так и для этапа эксплуатации, входящего в их состав оборудования и иерархических сетей. Решение подобных задач требует разработки соответствующих моделей, отображающих балансы и иерархические связи распределения ресурсов [2].

Поскольку ресурсы ценоза измеряют, то следует считать, что они распределены в метрических пространствах. Следует также предположить, что метрические пространства ценоза имеет два вида метрик [3]. В нашем случае удобно выделить архимедовы и неархимедовы метрики [4] или метрики для величин ресурса и метрики для иерархических связей. Гипотеза двух метрик позволяет построить модель ценоза в виде:

$$W_* \leftarrow W \rightarrow W^*, \qquad (1)$$

где W_*, W^* – ресурсный или энергетический и иерархический или сетевой образы ценоза; $\leftarrow, \rightarrow$ – знаки отображения [5].

Модель объединяет ресурсную и иерархическую части ценоза. Ресурсная часть модели позволяет получить баланс ресурса, иерархическая часть – зафиксировать границы и связи между его потребителями. Ресурсную часть измеряют архимедовыми метриками, а иерархическую – неархимедовыми метриками. Запись отношения координат модели (1) аналогична записи сопряженных величин в квантовой механике. Модель ценоза (1) имеет числовую и геометрическую интерпретацию. Числовая форма модели имеет вид

$$R \leftarrow Q \rightarrow Z_p \,, \tag{2}$$

где Q, R, Z_p – поле рациональных, вещественных и целых *p*-адических чисел.

Числовая модель объединяет вещественное и *p*-адическое представление рационального числа. Из сопоставления выражений (1) и (2) следует, что ресурсную часть модели (1) замещают вещественными числами выражения (2), а иерархическую – *p*-адическими числами [6, 7].

Рациональное число в математике представляет отношение двух целых чисел, потому оно есть «физическое» число. С его помощью выполняют измерения физических величин. Например, физическому параметру электропотребления сопоставляют рациональное число на шкале прибора измерения. С этой точки зрения вещественное и *p*-адическое числа – это модели рационального числа. Рассмотрим вещественные и *p*-адические числа выражения (2), ориентируясь на работы [6, 7].

Поле вещественных чисел *R* в математическом анализе получают пополнением поля рациональных чисел *Q*. Под пополнением метрического пространства *X* понимают присоединение к нему пределов фундаментальных последовательностей. Пополнение осуществляют в терминах абсолютной величины числа, обладающей свойствами нормы. Другими словами, расширение поля рациональных *Q* чисел до поля вещественных чисел *R* осуществляют путем нормирования поля рациональных чисел *Q*.

Норма есть отображение числового поля на множество неотрицательных вещественных чисел $\| \; \| : x \rightarrow \|x\|$. Норма для получения поля вещественных чисел отвечает трём условиям: 1.норма числа равна нулю при равенстве нулю отображаемого числа, т.е. $\|x\| = 0$ тогда и только тогда, когда $x = 0$; 2.норма от произведения чисел равна произведению норм этих чисел, т.е.

$\|x \cdot y\| = \|x\| \cdot \|y\|$; 3. норма от суммы чисел меньше или равна сумме норм этих чисел, т.е. $\|x + y\| \leq \|x\| + \|y\|$. Последнее условие называют неравенством треугольника.

p-Адические числа также получают пополнением поля рациональных чисел до непрерывного множества. Норму для получения поля *p*-адических чисел отличают от предыдущей нормы. Два её первых условия оставляют, но изменяют третье условие. Это условие записывают в виде $\|x + y\| \leq \max(\|x\|, \|y\|)$. Его называют условием усиленного треугольника. Любая сторона усиленного треугольника, не превышает любую из двух оставшихся сторон. Усиленная норма от суммы чисел меньше или равна максимуму от норм этих чисел. Эту норму называют неархимедовой. Последствия от введения этой нормы таковы: все треугольники для геометрии с такой нормой (метрикой) или равнобедренные, или равносторонние, а любая точка в круге является его центром. Топология поля вещественных чисел связна, для поля *p*-адических – несвязна [6,7]. Целые *p*-адические числа в геометрическом смысле – это иерархические деревья.

Нормы вещественной и *p*-адической частей числовой модели индуцируют соответствующие метрики.

В качестве метрики поля вещественных чисел принимают абсолютную величину числа $|\ |_{\infty} : x \to |x|_{\infty}$. Метрику *p*-адического числа записывают через кратность вхождения m простого числа p в разложение ненулевого целого числа a на простые множители, т.е. через степень наибольшего целого неотрицательного числа *m,* для которого $a \equiv 0(\bmod p^m)$. Запись кратности вхождения m имеет вид $m = ord_p a$. Функция $ord_p()$ в определённом смысле похожа на логарифм $ord_p(ab) = ord_p(a) + ord_p(b)$. Метрику на поле *p*-адических чисел определяют как $|\ |_p : x \to |x|_p$. Причём $|x|_p = p^{(ord_p x)^{-1}}$, если $x \neq 0$ и $|x|_p = 0$, если x=0.

Непустое множество X с заданной метрикой d называют метрическим пространством. Функцию $d(,)$, определенную на множестве всех упорядоченных пар элементов множества и принимающую вещественные неотрицательные значения, называют метрикой или расстоянием на множестве, если она обладает следующими свойствами: 1) равна нулю тогда и только тогда, когда точки пары совпадают, т.е. $d(x,y)=0$ тогда и только тогда, когда $x=y$; 2) симметрична для всех пар элементов, т.е. $d(x,y)=d(y,x)$; 3.выполняет условие неравенства треугольника, т.е. $d(x,y)\leq d(x,z)+d(z,y)$ для всех $z\in X$. Метрика поля вещественных чисел архимедова (евклидова). Метрику поля p-адических чисел называют неархимедовой. Для неё третье условие имеет вид $d(x,y)\leq \max(d(x,z),d(z,y))$.

Таким образом, числовая модель ценоза включает два вида пополнения рациональных чисел, которые следует рассматривать совместно. Вещественная и p-адическая части числовой модели позволяют ввести собственные нормы и соответствующие им метрики. Архимедова метрика на поле вещественных чисел позволяет оценить близость составляющих ресурса, неархимедова метрика на поле p-адических чисел – близость границ и связей между уровнями и на каждом уровне ветвления иерархического дерева.

Теоретической основой приведенного вывода является теорема Островского, которая представляет собой более раннюю версию теоремы Гёльдера о двух типах измерительных шкал – аддитивной и мультипликативной. Из теоремы Островского следует, что поле рациональных чисел допускает только два вида нормирования – обычный (архимедов) и – p-адический (неархимедов) модули [6, 7].

Естественность двойного нормирования числовой модели ценоза позволяет записать любое значение его ресурса, представленное рациональным числом, через сопряженные метрики:

$$|y|_\infty |x|_p^d = c, c\in Q \quad , \tag{3}$$

где $|y|_\infty$ и $|x|_p^d$ – метрика на поле вещественных чисел и метрика на поле p -адических чисел; d – размерность (метрика) сети, распределяющей ресурс.

Произведение сопряженных метрик задает отношение дополнительности и неопределенности. Дополнительность характеризует пополнение поля модели рациональных чисел парой неотделимых и не сводимых (друг к другу) метрик. Неопределенность означает, что две метрики одновременно определить нельзя. В тоже время для любого рационального числа и заданной метрики p-адического числа определяют метрику вещественного числа. Формальное выражение для этой связи получают из выражения (3). Оно представляет степенную функцию

$$|y|_\infty = c|x|_p^{-d}, \tag{4}$$

Размерность сети, распределяющей ресурс, существенно влияет на вид степенной функции (4) и соответствующего ей графика (при d=1 имеют гиперболу).

Если записать выражение (3) при условии $d = (\ln c|y|_\infty^{-1})\,(\ln|x|)^{-1} = \text{const}$ в виде

$$|x| = c|y|_\infty^{-1}, \tag{5}$$

то получаем форму для закона масштабирования [4].

Таким образом, числовая модель ценоза имеет неотделимые (друг от друга) вещественные и p-адические метрики. Поэтому модель имплицитно содержит степенное (гиперболическое) распределение составляющих ресурса и закон масштабирования между разными величинами ресурса, распределенными в иерархической сети.

Геометрическая модель техноценоза может быть представлена однополостным или двуполостным гиперболоидом и его ортогональными проекциями в виде окружности и гиперболы [8].

Геометрическая модель техноценоза через нормированное выражение двуполостного гиперболоида и его проекций в форме аналогичной (1)имеет вид:

$$x^2 + y^2 = 1 \leftarrow x^2 + y^2 - z^2 = -1 \rightarrow y^2 - z^2 = -1 \quad , \tag{6}$$

Геометрическая модель техноценоза через нормированное выражение однополостного гиперболоида и его проекций в форме аналогичной (1) имеет вид:

$$x^2 + y^2 = 1 \leftarrow x^2 + y^2 - z^2 = 1 \rightarrow y^2 - z^2 = 1 \, , \tag{7}$$

В выражениях (6) и (7) площадь, ограниченная окружностью, соответствует величине ресурса, а гипербола – уровням его распределения.

Иерархическую структуру техноценозов описывает также фрактальная геометрия. Рекурсивный механизм порождения фрактала соответствует механизму порождения иерархической масшабно-инвариантной (скейлинговой) структуры техноценоза. Выделяют конструктивные и природные фракталы. Конструктивные фракталы являются абстрактно-математическими объектами с одно фрактальной размерностью и точным самоподобием. В природных фракталов отсутствует точное самоподобие элементов, у них наблюдают лишь топологическое или статистическое самоподобие, т.е. самоаффинность. Глубина иерархии масштабов у этих фракталов всегда конечна [9]. Конструктивные фракталы позволяют построить модель иерархии с единственной фрактальной размерностью. (Структура Н-фрактала деревоподобна.) Природные фракталы и мультифракталы позволяют описать спектр размерностей сложной иерархической системы.

Числовая и конструктивная фрактальная модели техноценоза в виде иерархического дерева позволяют ввести: ступень деления или эталон деления ресурса V, степень (уровень) деления ресурса или его фрактальную размерность d, величину ресурса W. На основе отношений на p-адическом дереве все эти характеристики связаны друг с другом, т.е. существуют выражения каждой величины через две другие [10] . Запишем эти выражения для ступени деления, степени деления и величины ресурса, соответственно:

$$V = W^{\frac{1}{d}}, \tag{8}$$

$$d = \log_V W = \ln W (\ln V)^{-1}, \tag{9}$$

$$W = V^d. \tag{10}$$

Из приведенных выше выражений видно, что уровень деления ресурса (9) является инвариантом иерархической сети. Он связывает разные ресурсы иерархической сети в выражениях (8) и (10). Выражение (9) и (10) с учетом масштабно-инвариантной структуры ценоза представляет закон масштабирования, позволяющий связать различные значения ресурсов, размещенных в техноценозе [10].

Теория мультифрактала позволяет найти спектр степени (уровня) деления ресурса или спектр фрактальной размерности ценоза.

Рассмотрим соответствующий пример [11]. Моменты распределения составляющих электропотребления многономенклатурного цеха определяют по выражению:

$$M_q(W) = k_q \sum_{i=1}^{W} p_i^q = V^{\tau(q)} , \tag{11}$$

где $p_i = W_i \cdot W^{-1}$ – относительная частота составляющей баланса электропотребления (статистический вес);

$-\infty < q < \infty$ – порядок момента;

$\tau(q)$ – показатель подобия электропотребления;

k_q – коэффициент пропорциональности.

На основе выражения (11) определяют обобщенную размерность Реньи, являющуюся функцией порядка момента q:

$$D_q = \lim_{W \to \infty} (1-q)^{-1} \cdot (\ln(k_q \sum_{i=1}^{W} p_i^q))(\ln V))^{-1} = \tau(q) \cdot (1-q)^{-1} , \tag{12}$$

На практике D_q оценивают, используя конечное значение составляющих баланса, по более простому выражению:

$$D_q = (1-q)^{-1} \cdot (\ln(k_q \sum_{i=1}^{W} p_i^q))(\ln V))^{-1} \qquad , \tag{13}$$

Обычно характерные обобщенные размерности находят для некоторых значений q = – 1, 0, 1, 2. Используя выражения для размерностей и преобразование Лежандра, находят спектр обобщенных размерностей для электропотребления многономенклатурного производства через выражения:

$$f(\alpha) = \alpha \cdot q - \tau(q) \qquad , \alpha = \frac{d\tau(q)}{dq} \tag{14}$$

Показатель Херста *H* позволяет исследовать память нагрузочных диаграмм техноценоза [12]. Кроме того, для самоподобного объекта и самоаффинного графика, какими являются соответственно электрическое хозяйство промышленного предприятия, и график электропотребления, показатель степенной функции (коэффициент подобия) находят из равенства выражению: $D = 2 - H$.

Для нахождения показателя *H* применяют выражение:

$$R \cdot S^{-1} = c \cdot t^{H} \qquad , \tag{15}$$

где *R* - размах между максимальным и минимальным значениями графика; *S* – среднеквадратичное отклонение; *c* – постоянный множитель; *t* – время наблюдения.

Показатель Херста *H*, являющийся инвариантом и робастной мерой статистики временных рядов реальных процессов, позволяет классифицировать процессы по временным графикам. При $H = 0{,}5$ процесс – стационарный случайный. Если $H \le 0{,}5$, то он имеет выраженную знакопеременную тенденцию, т.е. является антиперсистентным, а если $H \ge 0{,}5$, то называется персистентным – длительно сохраняющим тенденцию к убыванию или возрастанию (имеет «длительную» память). При условии $H \to 1$ уменьшается изломанность графика.

Описанные модели проверены на практике и позволяют адекватно моделировать техноценозы электрохозяйств предприятий различного профиля и процессы нефтегазоизвлечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин, Б.И. Системы электроснабжения: учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования/Б.И. Кудрин. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 352с.
2. Мирзаджанзаде, А.Х. Моделирование процессов нефтегазодобычи. Нелинейность, неравновесность, неопределенность/А.М. Мирзаджанзаде, М.М. Хасанов, Р.Н. Бахтизин. – М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 368с.
3. Изотов, А.Д. Об одном способе описания процесса течения жидкости в пористой среде/ Ф.И. Маврикиди, А.Ф. Максименко // Нефть, Газ и Бизнес, 2009. – № 9. – с. 61-65.
4. Изотов, А.Д. Моделирование технологических процессов нефтегазоизвлечения/ Ф.И. Маврикиди// Нефть, Газ и Бизнес, 2014. – № 3. –с.58-63
5. Хорьков, С.А. Числовая модель электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия / С.А. Хорьков // Промышленная энергетика. – 2018. – № 5.
6. Коблиц, Н. *P*-адические числа, *p*-адический анализ и дзета-функции / Н. Коблиц: Пер. с англ. В.В. Шокурова / Под ред. и с предисловием Ю.И. Манина. – М.: Мир, 1981. – 192с.
7. Маврикиди, Ф.И. Числовая асимметрия в прикладной математике. Фракталы, *p*-адические числа, апории Зенона, сложные системы / Ф.И. Маврикиди. – М.: Дельфис, 2015. – 416с.
8. Хорьков, С.А. Исследование структуры электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия с целью обоснования методики его расчета / С.А. Хорьков // Промышленная энергетика. – 2015. – № 10. – с.36-39.
9. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы/ Б. Мандельброт. – М.-Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. – 656с.

10. Хорьков, С.А. Обоснование закона масштабирования расчетного и приборного электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия / С.А. Хорьков: Федоровские чтения-2017: XLVII Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы (Москва 15 – 17 ноября 2017) / под общ. ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – с.85-88.
11. Хорьков, С.А. Мультифрактальный анализ структуры электропотребления многономенклатурного производства / С.А. Хорьков // Промышленная энергетика, 2008. – № 8. – с.27-29.
12. Хорьков, С.А. Методики составления баланса и нахождения инварианта графика электропотребления промышленного предприятия/ С.А. Хорьков // Промышленная энергетика, 2009. – № 3. – с.19-21.

20. РАЗРАБОТКА НОРМ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЦЕХА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ*

Аннотация. Показана разработка цеховых норм электропотребления промышленного предприятия по всей номенклатуре продукции. При разработке норм учитывают технологическое и вспомогательное электропотребление, а также потери электрической энергии в цеховой сети. Разработка норм опирается на базу данных в виде электронных таблиц MS Excel. База данных включает файл со списком электрооборудования и мощностями машин, файл со списком продукции и времени исполнения технологических операций для ее изготовления, файл со списком количества производимой продукции. Для расчета норм написана программа на языке Python. Программное средство позволяет учитывать особенности производства каждой номенклатуры продукции. Это способствует более точному расчёту электропотребления цеха. Программа для расчетов норм потребления электрической энергии для цеха промышленного предприятия имеет Государственную регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности № 2024661345 от 16.05.2024. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации электрической энергии и снижения её затрат на производство продукции. Указанный итог обеспечивает повышение энергоэффективности производства.

Ключевые слова: нормы электропотребления, номенклатура продукции, база данных, программа для расчёта норм электропотребления.

Эффективное управление электропотреблением в цехах промышленных предприятий является важным аспектом для повышения производительности и снижения затрат на энергию. Для достижения этих целей производят разработку норм электропотребления с использованием расчетно-экспериментального подхода [1,2].

Норма электропотребления – усредненная расчетная величина, обычно директивно устанавливаемая для прогноза и анализа электропотребления, а

---

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А.Разработка норм потребления электрической энергии для цеха промышленного предприятия [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков, В. В. Зиновьев, А. И. Попов // Управление техносферой. –2024. – Т. 7, вып. 3. – С. 498–509.

также для стимулирования энергосбережения [3]. Разработка норм электропотребления цеха должна быть ориентирована на существующую систему учета выпуска продукции и электропотребления, а нормы электропотребления должны иметь возможность экспериментальной проверки.

Расчетно-экспериментальным методом целесообразно разрабатывать нормы потребления электроэнергии по всей номенклатуре, выпускаемой цехом продукции с учетом того, на каком агрегате производится изделие, т.е. привязывать нормы электропотребления через номенклатуру к агрегату. Такая технологическая норма электропотребления имеет возможность проверки [4].

Кроме технологического нормирования следует нормировать электропотребление вспомогательного оборудования и потери электроэнергии в цеховых трансформаторах и линиях электропередачи.

Вспомогательное оборудование имеет значительную долю в общем электропотреблении, нормы его электропотребления должны рассчитывать для каждого вида оборудования [4].

Потери электроэнергии в трансформаторах и линиях электропередачи нельзя сопоставить с общим технологическим и вспомогательным электропотреблением. Они значительно меньше их. Однако некоторые виды норм технологического и вспомогательного электропотребления соизмеримы с ним. Поэтому расчет этих потерь является целесообразным [4].

Расчет потребления энергии на единицу изделия j-ого вида i-ой операцией производят по формуле:

$$w_{yji} = k_{3ji} \cdot P_{ji} \cdot t_{ji} \text{, кВт·ч/т} \qquad (1)$$

где k_{3ji} – коэффициент загрузки по мощности агрегата при выполнении i-й операции изделия j-го вида; он должен проверяться экспериментально и при необходимости уточняться;

P_{ji} – мощность агрегата при выполнении i-й операции изделия j-го вида, кВт;

t_{ji} – время выполнения i-й операции изделия j-го вида, ч/т.

Расчет потребления энергии на единицу изделия j-го вида производят по формуле (удельный расход энергии на изделие j-го вида):

$$w_{yj} = \sum_{1}^{n} w_{yji} \text{, кВт·ч/т} \quad (2)$$

где n – количество технологических операций при выпуске единицы определенного вида продукции.

Расчет потребления энергии на G_j изделий j-го вида производят по формуле (абсолютный расход энергии на изделие j-го вида):

$$W_{aj} = w_{yj} \cdot G_j \text{, кВт·ч} \quad (3)$$

где G_j – количество изделий j-ого вида, т;

Расчет потребления энергии на выпуск всей номенклатуры продукции производят по формуле:

$$W_a = \sum_{1}^{\kappa} W_{aj} \text{, кВт·ч} \quad (4)$$

где κ – количество единиц номенклатуры продукции.

Расчет месячного потребления энергии некоторого агрегата, выполняющего вспомогательные функции, производят по формуле:

$$W_{\text{в}i} = k_{3i} \cdot P_i \cdot t_i\text{, кВт·ч} \quad (5)$$

где k_{3i} – коэффициент загрузки по мощности i-го агрегата;

P_i – мощность i-го агрегата, кВт;

t_i – время выполнения работы i-ым агрегатом, ч.

Расчет месячного потребления энергии вспомогательным оборудованием производят по формуле:

$$W_{\text{в}} = \sum_{1}^{m} W_{\text{в}i} \text{, кВт·ч} \quad (6)$$

где m - количество единиц вспомогательного оборудования

Расчет потерь в трансформаторах производят по формуле:

$$\Delta W_T = \Delta P_x * 8760 + \Delta P_\kappa * (\frac{S_{\max}}{S_{THOM}})^2 * \tau \quad (7)$$

где: $\Delta P_х$ – потери активной мощности холостого хода, кВт;

$\Delta P_к$ – потери активной мощности короткого замыкания, кВт;

S_{max} – полная максимальная мощность нагрузки, кВА

S_{THOM} – номинальная мощность трансформатора, кВА

τ– время максимальных потерь, ч

Расчет потерь в фидерах (питающих линиях): производят по формуле:

$$\Delta W_л = \frac{S^2{}_{\max}}{U_{ном}} * r * l * \tau_{\max} \tag{8}$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение, В;

r – удельное сопротивление кабеля, Ом/км;

l – длина линии, км.

Расчет норм электропотребления по номенклатуре продукции значительно облегчается при создании программного средства, так как номенклатура продукции может включать значительное количество типов и расчет электропотребления вручную занимает много времени. Программное средство позволит автоматизировать процесс расчета (и коррекции) удельных норм электропотребления по номенклатуре продукции. Результаты расчетов можно будет формировать в виде таблиц и графиков удельного и абсолютного потребления [4].

Одним из вариантов расчета нормативного электропотребления технологического оборудования с помощью программного продукта, является создания программы на языке программирования Python [6]. Этот язык прост в обращении и позволяет работать с табличными базами данных, в частности таблицами MS Excel. Составными частями базы данных является годовая (полная) номенклатура продукции, технологические операции, сгруппированные по видам номенклатуры продукции и машины, реализующие эти операции.

Для работы Python с базами данных (реализованными в виде таблиц MS Excel), их необходимо преобразовать в формат CSV. CSV (Comma-Separated Values) — текстовый формат для представления табличных данных. Перевод файлов в формат CSV позволяет упростить обработку и анализ данных при создании кода на Python.

Нами создана программа для расчетов норм потребления электроэнергии цехом промышленного предприятия по всей номенклатуре продукции. Программа имеет Государственную регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности № 2024661345 от 16.05.2024 [7].

Разработка и запуск программы включает следующие этапы:

1. Формируют базы данных в виде таблиц Microsoft Excel и преобразуют их в формат CSV:

• Таблица с номенклатурой продукции (prod.csv), которая включает в себя: название продукции; номер отделения; машины для производства этой продукции с данными о номере станка, о коэффициенте загрузки и времени производства

• Таблица с машинами (machines.csv), которая включает в себя:
название машины; мощность машины.

• Таблица с количеством продукции (quantity.csv), которая включает в себя:
название продукции; количество продукции.

2. Создают виртуальное окружение (делается при создании проекта):
Для создания необходимо в командной строке вести « python -m venv env ».

3. Создают проект (рис. 1).

```
import csv

productsFilename = "prod.csv"
machinesFilename = "machines.csv"
quantityFilename = "quantity.csv"
machinesArray = []
productsArray = []
productsQuantityArray = []

with open (machinesFilename, newline='', encoding='utf-8') as File:
    reader = csv.reader(File, delimiter=';')
    for row in reader:
        machineID = row[0]
        machineName = row[1]
        machinePower = row[2]
        machinesArray.append([machineID, machineName, machinePower])
        #print(machineID, machineName, machinePower)

#print(machinesArray[0][0])

with open (productsFilename, newline='', encoding='utf-8') as File:
```

```
    reader = csv.reader(File, delimiter=';')
    for row in reader:
        productID = row[0]
        productName = row[1]
        productLogic = row[2]
        #print(productID, productName, productLogic)
        operations = []
        for i in range(3,54):
            if row[i] != "":
                #print(row[i])
                operations.append(row[i].split('\\'))
        #print(operations)
        productsArray.append([productID, productName, productLogic, opera-
tions])

#print(productsArray[1][3][0][2])
# 0 - продукт
# 1 - свойство (ID, Name, Logic, Operations)
# 2 - Массив операций
# 3 - Свойство операции


with open (quantityFilename, newline='', encoding='utf-8') as File:
    reader = csv.reader(File, delimiter=';')
    for row in reader:
        productID = row[0]
        quantity = row[1]
        productsQuantityArray.append([productID, quantity])

#print(productsQuantityArray[0])

for product in productsArray:
    productID = product[0]
    productName = product[1]
    productLogic = product[2]
    energy = 0
    if productLogic == "0":
        for operation in product[3]:
            energy += float(operation[1]) * float(operation[2]) *
float(machinesArray[int(operation[0])-1][2])
        total_energy = energy
        total_energy1 = energy * int(productsQuantityArray[int(productID)-
1][1])
        # Округляем результат до двух знаков после запятой
        rounded_energy = round(total_energy, 2)
        rounded_energy1 = round(total_energy1, 2)
        print(productName, ';', rounded_energy, ';', rounded_energy1 )
```

Рис. 1. Листинг проекта main.py

4. Запускают программу main.py:

4.1. Открыть командную строку.

C:\Users\User>

4.2. В командной строке перейти в папку с проектом (с помощью команды cd "c:\projects\prod"):

C:\Users\User> cd "c:\projects\prod"

4.3. Активировать виртуальное окружение (с помощью команды env\Scripts\activate.bat):

c:\projects\prod> env\Scripts\activate.bat

4.4. Запустить проект (с помощью команды python main.py): c:\projects\prod> python main.py

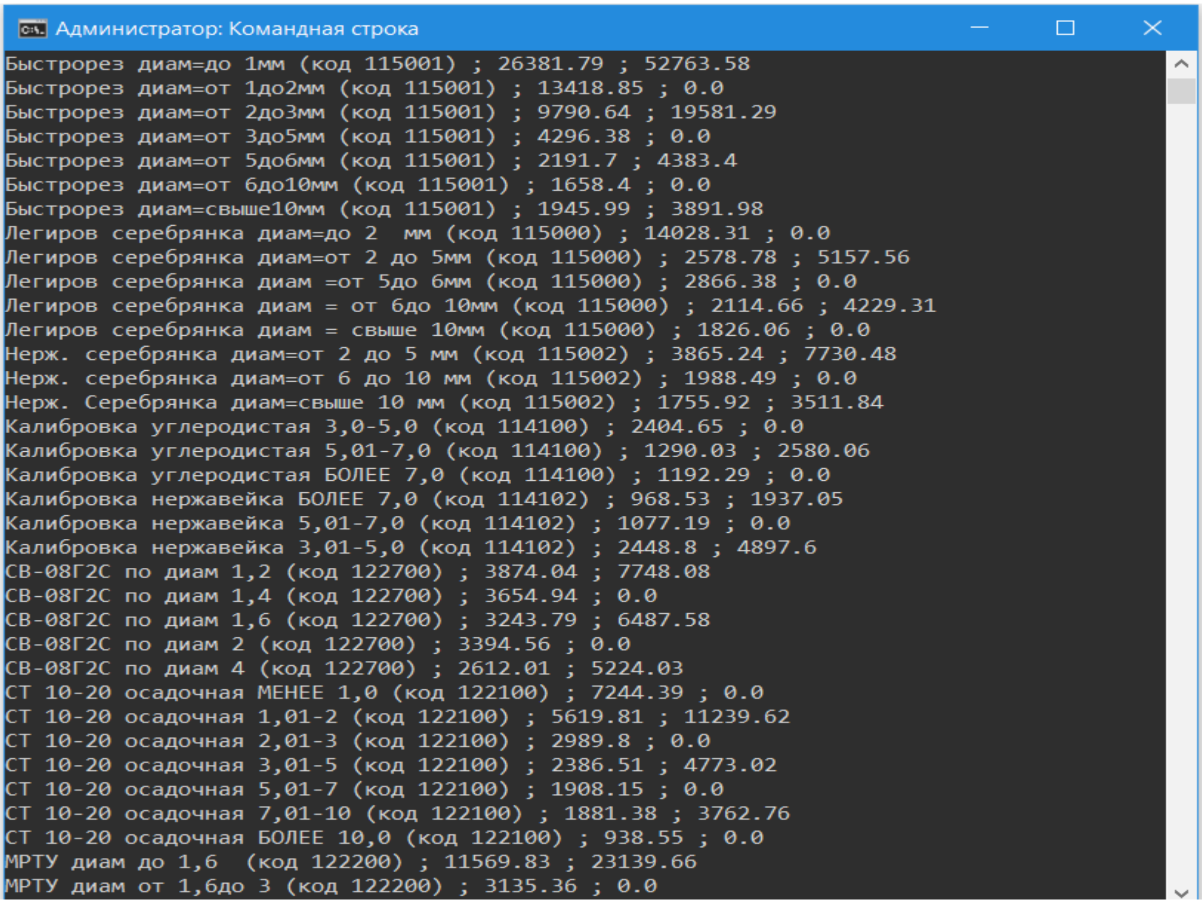


Рис. 2. Результаты расчёта

Программа выводит в консоль название продукции, потребление удельной энергии на производство продукции, потребление полной энергии на производство продукции (рис. 2).

ВЫВОДЫ:

1. Расчетно-экспериментальным методом разработаны нормы потребления электроэнергии для цеха промышленного предприятия по всей номенклатуре продукции; нормы проверены на практике.

2. При разработке норм учитывалось технологическое и вспомогательное электропотребление, а также потери электрической энергии в цеховой сети.
3. Разработка норм опиралась на базы данных в виде электронных таблиц MS Excel, включающих файл со списком электрооборудования и мощностями машин, файл со списком продукции и технологических операций для ее изготовления, файл со списком количества продукции.
4. Для расчета норм была написана программа на языке Python.
5. Программа для расчетов норм потребления электрической энергии для цеха промышленного предприятия имеет Государственную регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности № 2024661345 от 16.05.2024.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гофман, И.В. Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий. / Под ред. акад. Л. А. Мелентьева и канд. экон. наук Ю. А. Кузнецова. –М.: Энергия, 1966. –319 с.
2. Сальников , А.Х. Нормирование потребления и экономия топливно-энергетических ресурсов/ А.Х. Сальников, Л. А. Шевченко. – М.: Энергоатомиздат, 1986. –240 с.
3. Гусаков, В.Г. Энергоэффективность аграрного производства. / Под. общ. ред. академиков В.Г. Гусакова, Л.С. Герасимовича. – Минск: Белорусская наука, 2011. – 776 с.
4. Хорьков, С.А. Расчеты электропотребления при энергетическом обследовании промышленного предприятия: учебно-методическое пособие. – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2011. –111 с.
5. Копцев, Л.А. Нормирование и прогнозирование потребления электроэнергии на промышленном предприятии/ Л.А. Копцев, А.Л. Копцев . – Промышленная энергетика, 2011, № 1, с. 18-23.
6. Любанович, Билл. Простой Python. Современный стиль программирования. 2-е изд. –СПб.: Питер, 2021.
7. Свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ № 2024661345 Российская Федерация / С.А. Хорьков, В.В. Зиновьев, А.И. Попов; правообладатель ФГОУ ВО «Удмуртский государственный университет». – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 16.05.2024.

21. ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЧИСЛОВОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЦЕНОЗА ДЛЯ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ЦЕХА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ*

Аннотация. Показано, что теоретической основой расчёта электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия является числовая модель и вытекающий из неё закон масштабирования. Установлено, что методика расчета электропотребления цеха через составляющие включает расчеты: электропотребления технологического оборудования и вспомогательного оборудования; потерь электроэнергии в цеховой сети электроснабжения; электропотребления цеха без учета иерархических связей; коэффициента подобия и уточнённого электропотребления цеха. Представлены фактические и расчетные месячные значения электропотребления многономенклатурного цеха.

Ключевые слова*:* система, ценоз, математическое моделирование, числовая асимметрия, фрактальная геометрия, *p*-адические числа,

Техноценоз – есть сообщество технических изделий, которые упорядочивают по некоторому критерию по гиперболе [1]. Его удобно называть большой системой, содержащей материальный или энергетический ресурс, у которой выделены элементы и связи между ними, т.е. установлена структура, а также – целостность по отношению к внешнему окружению и может быть – эволюция этой целостности [2]. Такое представление техноценоза позволяет выделить в нём два уровня, один из которых материальный или энергетический, а другой – нульмерный, иерархический.

Числовая модель техноценоза имеет вид

$$R \leftarrow Q \rightarrow Z_p \,, \tag{1}$$

где Q, R, Z_p – поле рациональных, вещественных и целых *p*-адических чисел, соответственно; $\leftarrow, \rightarrow$ – знаки отображения.

---

* Первоначальный вариант опубликован: Хорьков, С. А. Об использовании числовой модели техноценоза для расчёта месячного электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия / С. А. Хорьков // Промышленная энергетика. – 2018. - № 7. – С. 47-50.

Модель объединяет вещественное и p -адическое представление рационального числа. Ресурсную часть техноценоза моделируют вещественными числами, а иерархическую – p -адическими числами [3,4].

Из теоремы Островского следует, что поле рациональных чисел допускает, только два вида нормирования – обычный (архимедов) и – p -адический (неархимедов) модуль [5].

Естественность двойного нормирования числовой модели позволяет записать любое значение электропотребления, представленное рациональным числом через сопряженные метрики

$$|y|_{\infty} \cdot |x|_{p}^{d} = c \tag{2}$$

где $|y|_{\infty}, |x|_{p}^{d}$ – метрика на поле вещественных чисел и метрика на поле p-адических чисел, соответственно; d – размерность сети распределяющей ресурс.

Для одного большого рационального числа, можно задать множество метрик p-адического числа и получить множество метрик вещественного числа. Формальное выражение для этой связи получают из (2), оно представляет степенную функцию в виде

$$|y|_{\infty} = c|x|_{p}^{-d} \tag{3}$$

Размерность сети, распределяющей ресурс, существенно влияет на вид степенной функции (3) и соответствующего ей графика, при $d=1$ имеют гиперболу.

Если записать выражение (2) при условии $d = (\ln c|y|_{\infty}^{-1}) \cdot (\ln|x|)^{-1} = const$ в виде

$$|x|_{p}^{d} = c|y|_{\infty}^{-1}, \tag{4}$$

то получают форму для закона масштабирования метрик [3,4].

Таким образом, числовая модель электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия имеет неотделимые друг от друга вещественные и p-адические метрики. Поэтому модель имплицитно содержит степенное (гиперболическое) распределение (3) составляющих электропотребления и закон масштабирования (4) между разными ресурсами, распределенными в иерархической сети.

Числовая модель техноценоза позволяет рассчитать месячное электропотребление многономенклатурного цеха промышленного предприятия через составляющие с учетом иерархических связей. Расчет электропотребления без учета этих связей дает чрезвычайно грубую оценку электропотребления. Непосредственный учет иерархии затруднителен и крайне трудоёмок. Закон масштабирования позволяет связать расчетное и приборное электропотребления цеха за один и тот же период времени и найти коэффициент подобия между ресурсами. Этот коэффициент характеризует инвариантные свойства сети электропотребления. Установленный коэффициент подобия позволяет уточнить грубую расчетную оценку электропотребления. Индикатором иерархической сети является степенное (гиперболическое) распределение расчетного ресурса [3,4].

Методика расчета месячного электропотребления цеха через составляющие включает расчеты: электропотребления технологического оборудования и вспомогательного оборудования; потерь электроэнергии в цеховой сети электроснабжения; электропотребления цеха без учета иерархических связей; коэффициента подобия и уточнённого электропотребления цеха [6].

Расчет потребления энергии на единицу изделия j-ого вида i-ой операцией производят по формуле

$$w_{yji} = k_{3ji} \cdot P_{ji} \cdot t_{ji}\text{, кВт·ч/т,} \tag{5}$$

где k_{3ji} – коэффициент загрузки по мощности агрегата при выполнении i-ой операции изделия j-ого вида; P_{ji} – мощность агрегата при выполнении i-ой операции изделия j-ого вида, кВт; t_{ji} – время выполнения i-ой операции изделия j-ого вида, ч/т.

Расчет потребления энергии на единицу изделия j-ого вида производят по формуле (удельный расход энергии на изделие j-ого вида)

$$w_{yj} = \sum_{1}^{n} w_{yji} \text{, кВт·ч/т,} \tag{6}$$

где n – количество технологических операций при выпуске единицы определенного вида продукции.

Расчет потребления энергии на n_j изделий j-ого вида производят по формуле (абсолютный расход энергии на изделие j-ого вида)

$$W_{aj} = w_{yj} \cdot n_j \text{, кВт·ч,} \tag{7}$$

где n_j – количество изделий j-ого вида, т;

Расчет потребления энергии на выпуск всей номенклатуры продукции производят по формуле

$$W_a = \sum_{1}^{\kappa} W_{aj} \text{, кВт·ч,} \tag{8}$$

где κ – количество единиц номенклатуры продукции.

Расчет месячного потребления энергии некоторого агрегата, выполняющего вспомогательные функции, производят по формуле

$$W_{вi} = k_{3i} \cdot P_i \cdot t_i \text{, кВт·ч,} \tag{9}$$

где k_{3i} – коэффициент загрузки по мощности i-го агрегата; P_i –мощность i-го агрегата, кВт; t_i – время выполнения работы i-ым агрегатом, ч.

Расчет месячного потребления энергии вспомогательным оборудованием производят по формуле

$$W_в = \sum_{1}^{m} W_{вi} \text{, кВт·ч,} \tag{10}$$

где m - количество единиц вспомогательного оборудования

Расчет потерь в трансформаторах производят по формуле

$$\Delta W_T = \Delta P_x \cdot T + \Delta P_к \cdot (\frac{S_{\max}}{S_{THOM}})^2 \cdot \tau , \tag{11}$$

где: ΔP_x – потери активной мощности холостого хода, кВт; $\Delta P_к$ –потери активной мощности короткого замыкания, кВт; S_{max} – полная максимальная мощность нагрузки, кВА; S_{THOM} – номинальная мощность трансформатора, кВА; T, τ – время работы трансформатора и время максимальных потерь, соответственно, ч

Расчет потерь в фидерах (питающих линиях) производят по формуле

$$\Delta W_л = \frac{S^2{}_{\max}}{U_{ном}} \cdot r \cdot l \cdot \tau \,, \tag{12}$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение кВ; r – удельное сопротивление кабеля, Ом/км ; l – длина линии, км.

Расчет месячного электропотребления цеха производят по формуле

$$W_р = W_а + W_в + \Delta W_T + \Delta W_л \text{ , кВт·ч.} \tag{13}$$

Расчет коэффициента подобия (инварианта цехового электропотребления) производят на основании данных предыдущего месяца по выражению

$$d = (\ln W_р) \cdot (\ln W_ф)^{-1} \,, \tag{14}$$

где $W_ф$ – месячное электропотребление цеха, соответствующее расчетному электропотреблению, по приборам учета, кВт·ч.

Уточненное месячное электропотребление цеха вычисляют по выражению

$$W_{ур} = W_р^{(d^{-1})} \text{, кВт·ч} \tag{15}$$

Расчеты электропотребления многономенклатурного цеха по вышеизложенной методике включают значительное количество составляющих (в некоторых случаях более ста) и их целесообразно выполнять при помощи специализированной программы, реализованной на Borland Delphi 6. Программа позволяет рассчитать электропотребление по видам производимой продукции, по видам вспомогательного оборудования, потери в электрической сети и, в конечном итоге, электропотребление цеха. Программное средство объединяет базу данных и совокупность модулей, предназначенных для обработки этих данных. База данных включает номинальную мощность оборудования, коэффициент загрузки электроприемников по мощности, время выполнения технологических операций. Номинальную мощность электроприемников принимают по паспортным данным, коэффициент загрузки определяют по справочным данным, или по данным эксплуатации, или экспериментально. Время работы оборудования находят по технологическим картам. Для расчетов электропотребления цеха необходимы сведения о мощности всех электроприемников, о времени их работы, о месячной номенклатуре и плане производства изделий. Для уточнения расчета электропотребления цеха применяют рассчитанный по данным предыдущих периодов коэффициент подобия. При подготовленной базе данных трудозатраты на расчеты и оформление их результатов минимальны. Результаты расчета электропотребления многономенклатурного цеха имеют вид таблиц и диаграмм [6].

Таблица 1. Фактические и расчетные месячные значения электропотребления многономенклатурного цеха ОАО «Ижсталь»

Месяц	Потребление электроэнергии - факт тыс.кВт*час	Потребление электроэнергии -расчет тыс.кВт*час	Потребление электроэнергии - уточненный расчет тыс.кВт*час	Погрешность уточненного расчета
Январь	1711,6	2200	1745,51	-1,98%
Февраль	1783,9	2200	1745,51	2,15%
Март	1863,6	2300	1822,42	2,21%
Апрель	1772,2	2200	1745,51	1,51%
Май	1688,6	2100	1668,5	1,19%
Июнь	1941,7	2400	1899,22	2,19%
Июль	1988,7	2500	1975,93	0,64%
Август	1981,4	2500	1975,93	0,28%
Сентябрь	1965,4	2500	1975,93	-0,54%
Октябрь	1699,1	2100	1668,5	1,80%
Ноябрь	1655,1	2100	1668,5	-0,81%
Декабрь	1751,3	2200	1745,51	0,33%

Расчет абсолютного месячного электропотребления цеха производят при помощи программного средства по выражениям (5)…(13). Уточнение расчета по выражению (15) выполняют при помощи коэффициента подобия (14). Для рассматриваемого периода времени коэффициент подобия, инвариант электропотребления для многономенклатурного цеха ОАО «Ижсталь» по выражению (14), равен 1,031. Фактические и расчетные значения электропотребления цеха приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что погрешность уточненного помесячного расчета электропотребления многономенклатурного цеха не превышает 3 %.

Выводы

1. Теоретической основой расчёта электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия является числовая модель и вытекающий из неё закон масштабирования. Грубую оценку электропотребления цеха находят через его составляющие, затем на основании расчётного и приборного электропотребления за предыдущий период определяют показатель подобия ресурсов электропотребления и на основе закона масштабирования получают уточненную оценку электропотребления многономенклатурного цеха.
2. Автоматизация расчёта электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия предполагает построение базы данных электрооборудования и технологии производства, а также разработку программы для расчёта составляющих электропотребления и коэффициента подобия ресурсов электропотребления.
3. Методика расчёта электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия проверена на практике и применена на ОАО «ИжАвто» и на ОАО «Ижсталь».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин Б. И. Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические H-распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта. В кн.: Философские основания технетики. Вып.19. "Ценологические исследования". – М.: Центр системных исследований, 2002. – С.357-412.

2. Блюменфельд Л.А. Решаемые и нерешаемые проблемы биологической физики. Изд. стереотип. – М.: Едиториал УРСС, 2014. – 160с.
3. Хорьков, С. А. Числовая модель электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия / С. А. Хорьков // Промышленная энергетика. - 2018. - № 5. – С. 44-51.
4. Хорьков, С. А. Обоснование закона масштабирования расчетного и приборного электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия [Электронный ресурс] / С. А. Хорьков // Фёдоровские чтения 2017 : XLVII Междунар. науч.-практ. конф. с элементами науч. шк., Москва 15-17 нояб. 2017 г. / М-во образования и науки РФ, Национ. исслед. ун-т "МЭИ". - Москва : Издат. дом МЭИ, 2017. – С. 85-88.
5. Коблиц Н. *P*-адические числа, *p*-адический анализ и дзета-функции. Пер.с англ. В.В. Шокурова/ Под ред. и с предисловием Ю.И. Манина. – М.: Мир, 1981. – 192с.
6. Хорьков, С. А. Расчеты электропотребления при энергетическом обследовании промышленного предприятия : учеб.-метод. пособие / С. А. Хорьков, ГОУВПО "Удмуртский государственный университет". – Ижевск : Удмурт. ун-т, 2011. – 112с.
7. Хорьков, С. А. Об использовании числовой модели техноценоза для расчёта месячного электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия / С. А. Хорьков // Промышленная энергетика. – 2018. - № 7. – С. 47-50.

22. ТЕОРЕМА ГЁДЕЛЯ И ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ*

Аннотация. Вторую теорему Гёделя о неполноте анализируют в пространстве фракталов с числовой асимметрией как её моделью. В этом пространстве арифметику Пресбургера рассматривают в качестве оппонента теоремы о неполноте. Арифметика Пресбургера здесь является полной и непротиворечивой формальной теорией. Показано, что психофизиология восприятия человека совпадает с пространством числовой асимметрии.

Ключевые слова: фракталы, *2*-адические числа, числовая асимметрия, теорема Гёделя, арифметика Пресбургера

Введение. Вторая половина XX века поставила вопрос о возможностях и границах математического моделирования. Проблема поставлена очевидным неуспехом применения математической физики к естественнонаучным и гуманитарным задачам кибернетики. Несмотря на «широкое» применение математики, её непостижимая эффективность оказалась лишь иллюзией, что в значительной степени обусловило нарастание антинаучных настроений. В самой математике вопрос о границах познания связан со второй теоремой К.Гёделя о неполноте формальных аксиоматических теорий.

Теорема К. Гёделя о неполноте обладает в науке особым статусом. Она оказала влияние как на математику [1, Part I], так и на философию науки [1, Part II], и расширительно упоминается как предел человеческого познания [2, P.109-113] Природы. Однако очевидно, что эта интерпретация целиком принадлежит аксиоматической формальной науке и в философию и естествознание привносится вместе с её методами, а без них в собственном материале наук она не звучит. Особенно это факт заметен в биологии, в которой математические методы «непостижимо неэффективны» (И.М.Гельфанд). Отсюда один шаг до очевидности – «теорема Гёделя формулируется человеком, его

* Первоначальный вариант опубликован: Маврикиди, Ф.И. Теорема Гёделя и психофизиология математического моделирования. – Проблемы исследования Вселенной, 40, 2022, С. 119–127.

мышлением, психикой, т.е. биологией». Поэтому напрашивается понимание роли психики человека как самостоятельного звена в создании математических моделей и познании вообще. Эта мысль нередко звучит в философии науки. «Никакая сущность не может быть моделью исходно, сама по себе без участия человеческого сознания, так как способность быть моделью присваивается объекту сознанием и существует только в нем. В физической реальности нет моделей, есть только разные физические сущности, одни из которых рассматриваются сознанием и только в сознании в качестве моделей других. Именно сознание превращает визуальные образы одних объектов в модели визуальных образов других объектов»[22].

В настоящей статье мы постараемся показать, что теорема Гёделя в паре с арифметикой Пресбургера является членом логической оппозиции, которая снимает познавательные ограничения. А затем предъявим числовую модель психики, которая объясняет эту ситуацию.

Известно, что теорема Гёделя и все рассуждения о ней как сугубо математического, так и философского характера связаны со стандартным натуральным рядом N, как единственным числовым ресурсом, т.е. с математической физикой. В теоретической информатике, которая сегодня является наиболее бурно развивающейся ветвью науки, ни теория множеств, ни теорема Гёделя не имеют веса, сравнимого с физикой. Есть и другие отличия, главным из которых является центральная роль нульмерных множеств типа канторова совершенного множества – множества двоичных строк, которые в математической физике не играют заметной роли. Это множество под видом фракталов, обнаруженных во всех разделах естественных и гуманитарных наук, в последние десятилетия привлекает все большее внимание. Формирование теории хаоса и фракталов вызвало к общенаучной жизни вторую фундаментальную систему математики – *p-адические числа Q_p, ка*к её числовое содержание. Тем самым, универсальность фракталов обеспечивает естественные науки, считавшиеся ранее нематематическими – мышление, язык, биологию, медицину, географию, геологию и т.п., своей числовой системой, вводя их в универсум математической идеи.

В контексте теоремы Геделя, эти науки в процессе продолжающихся попыток формализации можно рассмотреть как математически определимыми по умолчанию, т.е. истинными. Но как показал опыт второй половины XX века ничего существенного достигнуто не было – объекты естественных наук оказались истинными, но не вычислимыми, не доказуемыми, неопределимыми. Это расширенная версия явления – наличие в математике, теперь уже расширенной фрактальной топологией, большой области недоказуемых истин, которое названо «феноменом Гёделя» [2, Ch. 21] и которое составляет математическое содержание мира “неразрешимостей” [3]. Неразрешимости, оппозиции, которые не удается свести к одному из своих членов, являются не чем иным, как двойственностями – хорошо известным явлением, которое всегда сопровождало познание человека. Это явление более известно как парадоксы науки и сейчас с ним борется квантовая механика.

Теорема Гёделя и числовая асимметрия. Узлом теоремы Гёделя *GdTh* является оппозиция, или двойственность, построенная Гёделем по аналогии с математическими парадоксами Рассела, Ришара, Лжеца [2, P.109-113; P.22-24, 60-63, 92-93, 98-99]. Они имеют общую основу – оппозицию Платона «Единое – Многое», которая в науке более известна как проблема формализации пары «Целое – Часть». Общая формулировка этих парадоксов – для любого утверждения А истинно отрицание закона исключенного третьего:

$$R\colon \vdash A \wedge \vdash \neg A \Rightarrow \vDash A \wedge \neg A \tag{1}$$

В контексте теоремы Гёделя *Целое* – свойство всей формальной системы, *Часть* – доказуемость её частей, теорем. В ней обходится молчанием интерпретация отрицания, которое в последние годы привлекает большое внимание исследователей. Мы изложим интерпретацию теоремы в пространстве числовой асимметрии, которая принимается как пространство фракталов и, следовательно, наследует их универсальные свойства, главное из которых связь с естествознанием и, поэтому, возможность формализации идеи междисциплинарности. Все необходимые сведения, интерпретации и обоснования изложены в книге автора [4].

Основу числовой асимметрии составляет морфологическое тождество числовой модели $U = R \times Z_2$ с функциональной асимметрией Природы и её эмпирическим базисом – фракталами. Функциональная асимметрия есть давно замеченная универсальность сопряжения двух формообразующих процессов сжатия / конвергенции / негэнтропии с процессами рассеяния / дивергенции / энтропии [5]. Первично интерпретация *p*-адических чисел как инвариантов процессов бесконечного деления/дивергенции дана С.Уламом в 1955 г. В математике и философии эта пара известна как оппозиция непрерывности и дискретности [6]. В ней дискретность считается абсолютным, непрерывность относительным явлением. Формальными числовыми аналогами этой пары являются сомножители *U*. Вещественные *R* и диадические Z_2 числа связаны инволюционным антиизоморфизмом, который мы для краткости будем называть инволюцией. Она сопрягает две основные числовые системы математики – вещественные *R* и *p*-адические числа Z_2 (p=2 – как база числовой системы) в единую самодвойственную систему *U*, которая при инволюции переходит в саму себя. Это соответствует известному факту – вещественные числа получаются из нульмерных Z_2 проекцией, то есть уплотнением, материализацией а *2*-адические из вещественных – делением, то есть рассеянием, идеализацией.

Рассмотрим мысленный эксперимент. Экспериментатор ведет счет – 1,2,3, …, N,…. Следуя счету один человек укладывает кирпичи в стену, другой – бьет кувалдой по единственному кирпичу. Оба следуют натуральному ряду, но результаты их прямо противоположны. У первого растет мера множества, второй эту меру обнуляет. Поэтому порядок чисел в двух системах взаимно противоположный – большие вещественные сопряжены с малыми 2-адическими и наоборот.

И позиционные записи чисел получаются друг из друга отражением относительно «десятичной точки». Члены пар процессов и чисел, составляющие числовую асимметрию, являются условием существования друг друга, как два зеркальных отображения. Пространство числовой асимметрии есть физическое евклидово, расширенной динамической "координатой" делимости. Геометрически это масштабно инвариантная сеть. На этой сети инволюция имеет все черты отрицания, сопрягая дополнительные топологии и числовые системы. Числовая асимметрия есть формализация известной двойственности фракталов, которая заключается в возможности порождения фракталами, в зависимости от проекции, множеств полной меры и нульмерных [7, P.96, Fig. 6.3]. Философия числовой асимметрии строится на основе оппозиции Платона «Единое – Многое». Работы Д.Мириманоффа (1917–23 г.), С.Улама (1953–55 гг.), А.Н.Паршина (1982–2002г.), А.Н.Тананаева (1984г.) и ряда других ученых сформировали содержательную интерпретацию *p*-адических чисел как экстраординарных, нефундированных множеств, как инвариантов процессов бесконечного деления /разложения / диспергирования / декомпозиции / углубления в детали / диарезиса / пространства единства противоположностей. Логическое толкование 2-адических чисел впервые дано А.Н. Паршиным [8, С. 67-101]. В работе А.Макинтайра 1984 года по теории моделей *p*-адических чисел, показано, что эти числа интерпретируют арифметику Пресбургера, которая является полной, непротиворечивой и разрешимой логической формальной системой [9]. Они также воплощают двойственность Стоуна и контравариантные соответствия Галуа, являясь естественнонаучным обобщением преобразования Фурье, которое имеет общематематический характер. Все технические факты и литература приведены в [4, гл.2,3,4,5].

p-Адические числа как арифметика Пресбургера *AP* с одной стороны и с другой как итеративная система функций (IFS – англ.) [10, P.11-17] – основной аппарат моделирования фракталов в естествознании, являются основой выхода математики за пределы физико-технических приложений. В дальнейшем мы будем говорить о *2*-адических, диадических числах Z_2, поскольку существуют веские основания для выбора p=2 в качестве базы числовой системы. Например, двойку можно считать единицей процесса делимости.

В стремлении обеспечить адекватность математических процессов природным, все формальные конструкции следует рассматривать одновременно над полем натуральных, т.е. вещественных чисел R, и над полем 2-адических. К этому вынуждает их неотделимость друг от друга как формальная модель пары универсальных процессов.

$$R \xleftarrow{\wedge} (\models A \wedge \neg A) \xrightarrow{\vee} Z_2 \tag{2}$$

Иными словами формула теоремы Гёделя рассматривается одновременно в физическом и фрактальном пространствах, причем основным порождающим является фрактальное или нульмерное или 2-адическое. Получаем сопряжение арифметики Пеано PA с арифметикой Пресбургера AP, т.е. неполнота и противоречивость дополняются полнотой и непротиворечивостью. Арифметика Пресбургера является «инволюцией», отрицанием или антиподом теоремы о неполноте [11, P.84, Corollary 3.2.21]. Эта пара является логической интерпретацией функциональной асимметрии Природы, её логикой.

Диаграмма (1) над U , с учетом $Z_2 = \neg R$, принимает вид парадокса Лжеца

$$U\colon \models A \wedge \neg A \text{ и } \models GdTh \wedge AP \quad GdTh = \neg AP \tag{3}$$

Здесь срабатывает принцип двойственности для решеток – инвариантность истинности высказывания относительно изменения порядка [12]. Арифметика Пресбургера AP на метрическом пространстве *2*-адических строк есть также булева алгебра [13, С. 49-49, 289, 358, 367, 411], [14], [15]. В арифметике Пресбургера отрицание не порождает противоречия. Выражение (3) помимо философского толкования имеет и чисто математическое. Оно, в зависимости от контекста, может выражать идею неразрешимости, невычислимости, недоказуемости, связывая результаты Гёделя, Тьюринга, Тарского и многие другие результаты физико-математической науки [3]. В последние годы эти результаты составляют ядро понятия сложности, которое прямо соотносится с феноменом Гёделя.

Арифметика Пресбургера *AP* и *p*-адические числа. Рассмотрим подробнее утверждение Макинтайра [9, n.3.2, p.128].

Предложение. Локально компактное множество Q_p является интерпретацией арифметики Пресбургера.

Доказательство. AP является теорией сложения целых чисел без умножения. Это значит, что в отличие от арифметики Пеано, мы имеем возможность перейти к формальным языкам, где основной операцией является конкатенация. Как показал У. Куайн [16], конкатенация эквивалентна сложению (поэтому линейное письмо, формальные языки – вычислимость и доказуемость, неявно инфицированы механикой).

Общая идея доказательства в том, что *p*-адические числа представляют собой позиционную запись вещественных и натуральных, и, значит, они синтаксически тождественны. Определим два отображения из (2) (контравариантные соответствия Галуа):

$$div: Z \to Z_p,\, n \mapsto \overline{n_0 + n_1}p + \ldots + n_k p^k \in Z_p \tag{4}$$

$$conv: Z_p \mapsto Z \quad \overline{n_0} + n_1 p + \ldots + n_k p^k \mapsto n \in N$$

Здесь черта $\overline{n_0}n_1 \ldots n_k$ обозначает обратный код [10, P. 2-3]. Для положительных чисел прямой и обратный коды совпадают. Для отрицательных обратный код определяется как дополнение до *p* прямого. Особенно проста эта конструкция для 2-адических чисел. Обратный код 2-адического числа получается инверсией разрядов прямого. Сложение определяется через конкатенацию, порядок 2-адических чисел инвертируется в порядок вещественных. Тем самым *p*-адические числа как предел подмножества конечных строк при $k \to \infty$ получаются изоморфными натуральному ряду при соответствии (4). В силу принципа двойственности для решеток, логика не различает «истинное» Q_p и его же в интерпретации числовой асимметрии $U = Z_p^{\to} \times Z_p^{\leftarrow}$, т.е. как решетки с двумя взаимообратными порядками и топологиями. Иными словами любое «позитивное» высказывание, сопряжено со своим отрицанием, также истинным. Энергия сопряжена с энтропией, истина неотделима от своего отрицания, также истинного. Всякое определение, или номинация, выделяет не только определяемое, но также и то, что остается за его пределами. Это взаимно порождающие процессы. Таким образом, для формальных систем S и утверждения P в числовой асимметрии верно следующее:

$$\forall P \in S \;\; \exists \; \neg P \in S \tag{5}$$

Тогда по теореме Майхилла доказуемость совпадает с истинностью [17].

Кроме того, Z_2 образуют булеву алгебр [14, P.4] – ещё один универсальный объект математики. Это дополнительный довод в пользу выбора $p = 2$. Двойка первична, образует основу докатегориального мышления. В материальном мире делимых сущностей она устойчива – на 2 все всегда делится. Деление на большее число частей надо синхронизировать, иначе получится череда делений на 2. Двойка также устойчива относительно выбора единицы ряда, остальные простые числа при изменении единицы, перестают быть простыми. Иными словами двойка есть определимая единица процесса деления, в отличие от неопределимой 1 стандартного натурального ряда [18].

Рассмотрим интерпретацию p-адических чисел как чисел Платона [19], т.е. как слова формальных языков. На этот счет имеется расширенная трактовка p-адических чисел как Универсальной Библиотеки [20]. В этой статье рассуждения проведены для вещественных чисел, заданных, однако, своей позиционной записью, т.е. как p-адические в своей языковой интерпретации. Поэтому рассуждения фактически читаются как для p-адических чисел.

Здесь ситуация богаче, нежели на стандартном натуральном ряде. Конечные строки, как модель законченных текстов, теорий, формул и проблем являются частью всего Z_2, т.е. $Z_2 = Z_2^{<} \cup Z_2^{\omega}$, то есть частью Универсальной Библиотеки, содержащей все тексты, все теории, как написанные ранее, в прошлом, так и пишущиеся сейчас, в настоящем, так и те, которые будут написаны и построены в будущем (числовой аналог Вавилонской Библиотека Борхеса). Это по материально-идеальной универсальности фракталов в виде p-адических чисел, относится и к материальному состоянию Вселенной. Если рассмотреть молекулы ДНК как тексты, как это что часто делается, можно увидеть здесь перспективу для рассуждений о природе генетической динамики и биологического разнообразия. Этот вопрос требует отдельной работы, поэтому здесь мы ограничимся лишь аналогией.

Формула Гёделя (2) и (3) обычно рассматривается как выражение сложности во многих разделах математики, связанных с идеей универсальности: машины Тьюринга, универсальные вычисления, теория вычислительной сложности [20]. Универсальные вычисления известны тем, что порождают неразрешимые высказывания, т.е. снова работают формулы (2) и (3).. Это соответствует тому, что арифметика Пресбургера содержит отрицания, но лишена противоречий. Соответственно p-адическая Универсальная Библиотека содержит все утверждения, теоремы, доказательства вместе со всеми искажениями, ошибками и противоположными утверждениями. Если рассмотреть язык как *alter ego* материального мира – «материя есть сжатый язык» (Л Витгенштейн), то Универсальная библиотека содержит как прошлое, так и наличное и будущее состояния видимого мира. Таким образом, мы получаем естественнонаучное толкование непротиворечивости и полноты арифметики Пресбургера, и толкование противоречия и отрицания в теореме Гёделя, т.е. получается онтологизация неразрешимости как естественной сложности [3].

Имеем два типа операторов противоречия:

$$\neg : Z_2 \to R \quad \text{и} \quad \neg_2 : Z_2 \to Z_2 \tag{6}$$

Отсюда возникает новая интерпретация теоремы Гёделя – как утверждение о не-сложности, простоте формальных аксиоматических теорий, описывающих сложную реальность. Точнее, сведением любой формальной аксиоматической теории к арифметике посредством нумерации Гёделя, мы включает теорему Лиувилля, согласно которой сложению соответствует сдвиг, перенос, умножению – растяжение. Вычитание и деления рассматриваются как обратный сдвиг и сжатие соответственно. Эти два движения, стоящие за арифметическими операциями, ограничивают сложность теории механикой деформируемого твердого тела.

Второе отрицание в (6) можно трактовать как аксиому полноты нефундированных множеств [21, P.23] – всякое отрицание сложности некоторой теорией сохраняет сложность, сложность неустранима (это вариант ригидности Z_2).

Заметим следующее. Арифметика Пресбургера как интерпретация Z_2 и итеративной системы функций *IFS*, наследует их иерархическое строение. С точки зрения теории алгоритмов иерархия есть недетерминированный алгоритм, повторяющий себя на каждом шаге. Поэтому проблема $P =? NP$, сводимости недетерминированных алгоритмов к детерминированным, оказывается частью общей ситуации неразрешимости с очевидным решением $P \neq NP$.

Психофизиология моделирования. Большой и разнообразный опыт математического моделирования в самых разных областях науки, наколенный в XX веке, ясно показывает насколько различны взгляды исследователей на описание одного и того же явления. Ничем иным, кроме как работой психики, это разнообразие объяснить невозможно. Но психика как третий участник, как звено процесса моделирования, систематически выводился из поля зрения. Математика заменяет реальность человеческого восприятия реальностью символов (центральная идея Д.Гильберта). На этот момент часто обращают внимание философы, говоря о порочности прямолинейной математизации реальности. Но их упреки никак не воспринимаются математической наукой, для которой реальность символов значит больше реальности собственных ощущений. В то же время «идеи о том, что психическое содержание человека представляет собой модели окружающего мира давно и активно обсуждаются в психологии» [22 С. 68]. Приведем мнения психофизиологов, касающихся темы статьи:«Исследователи самых разных областей науки отмечали неразрывную связь всякого человеческого познания с уровнем знаний о психических процессах».[23 С.12] «… наши субъективные психические явления - ощущения и образы, или психические репрезентации лежат в основе всякой «объективности» и вообще всякого опыта. И если мы усомнимся в существовании и достоверности собственных психических явлений, в том числе и образов представления, то тогда не существует ничего не только истинного, но и подлежащего рассмотрению и изучению. Хотим мы того или нет, наши субъективно чувственные образы - это единственная, данная нам от рождения основа для любого нашего рассуждения и последующего анализа. И нет ничего иного. И никогда ничего не будет найдено, несмотря на любые попытки измыслить что-нибудь «более достоверное». Мы можем долго и пространно рассуждать по поводу того, что именно наши ощущения и образы представляют собой с точки зрения физиологии, физики, информатики и др. и строить разного рода вербальные мысленные конструкции в отношении их возможной «объективной сущности», но ничего очевиднее и достовернее этих исходных, данных нам от природы чувственных феноменов своего сознания мы не изобретем.» [22, С.99-100].

Говоря о возможной модели психики следует в первую очередь отметить её парадоксальность – психика существует, но ненаблюдаема, все нам дано через психику. Модель как порождение психики и сама психика должны быть описаны на одном языке – это психическое описание психического. Как, впрочем, и модели языка и сознания. Подробная проработка связи этих парадоксальных положений с числовой асимметрией является делом отдельной работы. Здесь отметим, что известная работа Л.М.Веккера [23] дает богатый материал, близкий математике по языковому выражению, для построения в первом приближении такой модели. Работа написана на стыке психологии, биологии, физики, кибернетики, т.е. в значительной степени является междисциплинарной. Единственным математическим объектом, допускающим подобный синтез, являются фракталы или нульмерные множества с дисконтинуальной топологией. Они же 2-адические числа. Введение в рассмотрение нульмерного (под)пространства помогает «увидеть» невидимые психические явления. Например, очевидным образом в качестве «психического пространства» напрашивается объединение физических процессов с собственно психическими – как объединение двух рядов фактов, формирующих психику. Психические образы при этом получаются как нульмерные прообразы физических объектов. Тогда становится возможным дать формальную трактовку понятию ощущения или перцепта – границы между психическим и непсихическим на которой сосредоточены все парадоксально-специфические характеристики психики. Так же как рациональные числа являются пересечением вещественных и *p*-адических, перцепт возникает как пересечение двух пространств – физического и нульмерного. Получают объяснение апории Зенона – формулирование парадоксов «прямо из головы», без каких либо теоретических построений, как следствие неразличимости протяженности и дискретности в психических процесса.

Общим местом психофизиологии является факт, что человеческое восприятие, т.е. научное наблюдение, формируется работой двух сигнальных систем. Раздражителем первой сигнальной системы (1сс) являются физические энергии, действующие на соответствующие органы – звук, тепло, запах, свет. Вторая сигнальная система (2сс) отзывается на специфический раздражитель – слово. Сигнальные системы взаимодействуют друг с другом и сводятся одна к другой. В этом суть психофизилогического парадокса – прообраз любого объекта физического мира, доставляемый первой сигнальной системой, содержится во второй, нульмерной сигнальной системой [23, гл.4]. Например, слово становится действующим фактором, если во второй сигнальной системе зафиксирован прообраз соответствующего физического раздражителя. Это прямая формализация мысли И.П.Павлова [23, С. 42-43] Очевидным образом, напрашивается считать пространством первой сигнальной системы поле вещественных чисел, второй – *2*-адических. Тогда их взаимодействие укладывается в пространство числовой асимметрии U. Получаем цепочку тождеств – изоморфизмов:

$$U = R \times Z_2 \cong 1cc \times 2cc \cong GdTh \times AP \cong P \times NP \cong \land \times \lor \qquad (7)$$

Здесь последний член цепочки есть символическое обозначение двух формообразующих процессов – сжатия, притяжения, конвергенции, материализации Λ и расширения, отталкивания, дивергенции, идеализации *V*.

Двойственность восприятия, сформированного сигнальными системами, с учетом его числовой модели, можно соотнести с межполушарной асимметрией мозга. Левое полушарие принято считать ответственным за линейные процессы – речь, логику, письмо. Правое – за интуицию, чувства, образы. В наших рассмотрениях первой сигнальной системе, левому полушарию соответствует вторая теорема Гёделя, линейные *P* алгоритмы. Второй сигнальной системе, правому полушарию – арифметика Пресбургера, недетерминированные *NP* алгоритмы. Связь между ними – рассмотренная выше инволюция, которая чаще появляется под видом преобразования Фурье. [24, гл.3, С.82]. Зрение, как известно, есть часть мозга, вынесенная на периферию, И, следовательно, процесс наблюдения также двойственен. В итоге получается модель так называемого двойного кодирования восприятия – одновременно символом и образом.

Заключение. Различие пространств и сигнальных систем ведут к различию в свойствах математических структур. Рассмотрим некоторые из них.

Во второй сигнальной системе и Z_2 находятся формулы, тексты, теории и вся математическая механика. В частности здесь всё действительно – это образ вечных идей Платона. Существуют все пределы, дифференциальные уравнения, актуальная бесконечность, арифметика с механикой Лиувилля не требует энергии (математика это физика, в которой эксперименты дешёвы (В.И.Арнольд)), арифметика Пресбургера и отрицание закона исключенного третьего, двойственность во всех проявлениях, в частности в логике (двумерная семантика). Особенно отметим допустимость аксиомы выбора и отрицание аксиомы фундирования *AFA* – атомизма. Это мир ан-атомии.

В первой сигнальной системе и *R* события разделены в пространстве и времени. Поэтому они образуют пару «действительное – возможное», которая фиксирует различие точек зрения. Это дейксис – влияние наблюдателя на результат наблюдения. Чаще всего дейксисом пренебрегают, применяя, например, преобразование координат в физике. Бесконечность потенциальная, пределов нет, есть проблема средних величин. Вместо дифференциальных уравнений – разностные схемы как их материализация. Отрицание аксиомы выбора – ограниченность ресурсов. Это предмет теории оптимального управления. Линейная логика, аксиома фундирования *FA* - атомизм, закон исключенного третьего.

Это различие математических структур, связанных с сигнальными системами следует учитывать при онтологизации и воплощении результатов моделирования. Очевидно, что простой перенос теорий из идеального Z_2 пространства в материальное R , без учеты различий в основаниях моделирования приводит к контринтуитивным выводам, парадоксам и побочным эффектам. Эти явления возникают, когда сложную реальность втискивают в механическую модель или, даже в проект. Соответственно вся человеческая практика, например управления, связанная с таким проектом оказывается неэффективной и, чаще всего, неадекватной на сколько-нибудь значительных временных отрезках.

Соотношение (7) дает ответ на причину непостижимой эффективности математики. Будучи частью функционала человеческого мышления, которое изоморфно внешнему миру – фрактальная Вселенная есть один из устоявшихся образов, математика выглядит как часть мышления-восприятия, совпадающая с фрагментом Природы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baaz, M. et. al. (eds.) Kurt Gödel and the Foundations of Mathematics. Horizons of Truth. Camb. Univ. Press. 2001. – 515 p.
2. Nagel E., Newman J.R. Gödel’s Proof. N.Y. Univ. Pr., 2001 – 129 p.
3. Chaitin G. et.al. Godel’s Way. Exploits into Undecidable World. CRC Press, 2011. – 138 p.
4. Маврикиди, Ф.И. Числовая асимметрия в прикладной математике.– М.: Изд-во Дельфис, 2015. – 416с.

5. Winslow, C.F.. Forces and Nature. Attraction and Repulsion. McMillan, 1869 -–492 p.
6. Самускевич, А.В. Диалектика прерывности и непрерывности и иерархический принцип строения материи// Научные труды по философии.– Минск, БГУ, 1958, №46, Вып.2, ч.1, С.101-156.
7. Falconer, K. Fractal Geometry. Mathematical Foundations and Application. Wiley, 2003 – 337 p.
8. Паршин, А.Н. Размышления над теоремой Гёделя. В кн. Путь. Математика и иные миры.– М.: Добросвет, 2002 - 238 с., С.67-101.
9. Macintyre, A. Twenty years of p-adic model theory// In Logic Colloquium 84 (Manchester), P. 121-153, North Holland, 1986.
10. Robert, A. A Course in p-Adic Analysis. Springer, 2000. – 437 p.
11. Marker, D. Model Theory. An Introduction, Springer, 2002. – 342 p.
12. Hartonas, C. Order Duality, Negation and Lattice Representation. In H. Wansing (ed.) Negation: A Notion in Focus. De Gruyter, 1996. – P.27-36.
13. Владимиров, Д.А. Теория булевых алгебр.– СПб.: Изд-во СПб ун-та, 2000. –616 с.
14. Vullemin, J. On Circuits and Numbers// IEEE Trans. Computers, Math.Comput.Sci, 1, 1993. – P.1-28.
15. Kuncak, V. et.al. Algorithm for Deciding BAPA. Boolean Algebra with Presburger Arithmetic. / Proceedings of the 20th International Conference on Automated Deduction (CADE-20), Tallinn, Estonia, July 2005.
16. Quine W.V. Concatenation as a basis for arithmetic // JSL v.11, №4, 1946. – P.105-114.
17. Myhill, J. A System which can define its own truth// Fundamenta Mathematicae XXXVII 1950. – P.190-192.
18. Goldstein L. The Undefinability of ”One”//J. of Philosophical Logic, 31, P. 29-42, 2002.
19. Паршин А.Н. Идеальные числа Платона. В кн. Лестница отражений.– М.: МЦНМО, 2023. – 491 с.
20. Augenstein, B. Complexity, Universal Library, DNA Sequences// Chaos, Solitons and Fractals vol.10, #6, P.953-973.
21. Barwise J., Moss L. Vicious Circles. The Mathematics of Non-Well-Founded Phenomena. CSLI Pr. 1996. – 390p.
22. Поляков, С.Э Феноменология психических репрезентаций.– СПб.: Питер, 2011. – 680с.
23. Веккер, Л.М. Психика и реальность: единая теория психических процессов. М.: Смысл, 1998. – 685с.
24. Глезер, В.Д. Зрение и мышление.– СПб.: Наука, 1993.– 238 с.

23. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ БАЗИС ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ*

Аннотация. Даётся очерк новой математической теории сложных систем нефтегазодобывющего производства, основанный на предметной и формальной адекватности фракталов. Показана её связь с основными разделами нефтяной науки. Описан новый подход к моделированию движения жидкостей в пористых средах. На его основе показана связь с новыми информационными технологиями. Сделан вывод о единой формальной основе всех процессов – от физико-химических до управленческих и экологических, позволяющей рассматривать науку нефтегазового производства как самостоятельную ветвь знания.

Ключевые слова: математическое моделирование, числовая асимметрия, фрактальная геометрия, *p*-адические числа, сложная система, нефтегазовая промышленность.

Введение. Нефтегазовая отрасль является одной из наиболее весомых и значимых разделов национальной экономики. Нефтегазодобывающее производство является примером наиболее сложных эколого-экономических систем. Оно характеризуется сложностью – множественностью природы процессов, формирующих технологию: природных, географических, климатических и геофизических условий. В настоящее время научное обеспечение технологии нефтегазодобывающего производства является конгломератом отдельных несвязанных дисциплин. Современные требования диктуют системное ви́дение мультидисциплинарных технических и управленческих проблем, адекватное новым взглядам и требованиям.

«Главная проблема построения и управления рациональными системами недропользования состоит в том, насколько модели адекватны реальным объектам и процессам, то есть, как обеспечить правдоподобное моделирование. В последнее время в связи с революционными достижениями компьютерных

* Первоначальный вариант опубликован: Изотов, А. Д. Математический базис инновационных технологий нефтегазовой промышленности [Электронный ресурс] / А. Д. Изотов, Ф. И. Маврикиди, С. А. Хорьков // Управление техносферой. - 2019. - Т. 2, вып. 4. - С. 357-392.

технологий все в большей степени стали проявляться негативные тенденции подмены реальных объектов их моделями. Это происходит как при проектировании систем разработки (проектируется система для модели, а не для объекта), так и при анализе работы конкретного реального объекта (скважины, залежи и т.п.). Такой подход к разработке не вызывал серьёзных осложнений на первых этапах освоения высокопродуктивных залежей при наличии значительных резервов. Однако он неприменим для сложнопостроенных месторождений и, очевидно, будет приводить (и уже приводит!) к серьёзным осложнениям на реальных объектах» [1].

Эта ситуация типична для всех естественных наук, в частности тех, которые сопряжены с разработкой нефтяных месторождений. Происходит развитие математического аппарата, но его связь с предметными задачами остается как минимум сомнительной в силу того, что полностью игнорируются основные положения логики моделирования (теоремы об определимости, интерполянте), топологии пласта (не учитываются два основных сопряженных процесса фильтрации – перенос и диффузия), пространственно-временной аспект процессов нефтегазодобычи (пространство неевклидово, время двумерно). По-прежнему всё моделирование осуществляется при посредстве гладких моделей теоретической физики (например, закон сохранения массы в топологии пласта очевидным образом включает в себя изменение формы объёма массы; отсюда проблема расстановки скважин), которые доказали свою бесперспективность в конце XX века.

Основной технологический процесс нефтегазодобычи – вытеснение углеводородов из пористого пласта, определяет все сопутствующие технологические и экономические операции и решения. Именно в его моделировании физико-математические методы оказались не вполне адекватными. Поэтому актуальной задачей видится математическое описание мультидисциплинарной природы производства и связь различных технологических решений и методов управления с основным технологическим процессом. Эта задача носит системный характер и, как показала история кибернетики и системного анализа, таким проблемам, как получение *нематематических и нефизических результатов физико-математическими методами*, не нашлось адекватного математического аппарата. Опыт математики в нефизических науках сформировал её общий изъян, устранение которого выражается в необходимости формального описания двойственной природы систем и объектов [2]. В этом заключается основная проблема системных приложений математики. С развитием теории фракталов и *p*-адической математики в конце XX века системная идея получила новые основания для своего развития.

p-Адические числа, вошедшие в практику в конце XX века, представляют собой числовое содержание фрактальной геометрии. Её математика, дополнительная к стандартной, основана на теоремах О.Гёльдера (1895г.) и Островского (1915г.) о двойственности функций измерения, теории нефундированных множеств Д.Мириманоффа (1921г.); арифметике М. Прессбургера, (1929г.), интерпретации *p*-адических чисел как инвариантов процессов бесконечной делимости материи С. Улама (1955г.), двойственности натурального ряда чисел, и информационно-физической эмпирии фракталов Б.Мандельброта (1972г.).

Данная статья предлагает новый подход к математическому моделированию задач нефтегазового производства, направленный на повышение его адекватности. Как оказалось, все нужные результаты уже давно присутствуют в математике, оставаясь в тени физико-технических мотивов её развития. Основные факты и литература приведены в [3]. Двойственность природы систем представлена сопряжением двух числовых систем – вещественных R и p-адических чисел Q_p, которая составляет основу подхода к математическому моделированию. Приводимые ниже факты нефтегазодобывающего производства являются точками его связи с математикой, каждая из которых является самостоятельной задачей и должна разрабатываться отдельно.

В предлагаемом подходе фрактальная геометрия и *p*-адические числа реализуют идею нефизической дополнительности – центральную проблему в гибридных, междисциплинарных проблемах. Её решение неформальными средствами дано многими авторами в виде дополнительности протяженности и делимости, диалектики как двойной причинности явлений. Числовая бинарность даёт возможность формализовать это решение, т.е. привычное для естественных наук системное мышление продолжается на мышлении в числах.

Критерий адекватности детерминированных моделей, играющий роль диагностики перспективности метода – теорема Бета и интерполяционная лемма Крейга в теории моделей. Кратко, он сводится к изоморфизму числовой системы модели структуре объекта (таковы, например, все инженерные расчётные схемы). В основе его лежит материнское для всей математики понятие определимости, т.е. выразимости переменной, функции, логического терма и т.д., уравнением, алгоритмом и т.п. По теореме Бета, смысловая, т.е. предметная, определимость эквивалентна синтаксической, т.е. формальной. Поэтому объекты могут быть заменены переменными, а их связи – функциями. В этом случае с течением времени, по лемме Крейга, числовые значения порождаемые моделью не разойдутся с измеряемыми величинами предметной области. Связь предметных измерений с формальными их функциями является решающей для перехода от формальных методов к построению технологий.

С этой точки зрения, континуальные модели подземной гидромеханики априори неадекватны – сетевая структура пористой среды не представима одними только вещественными числами *R*. Это можно видеть, сравнив гетерогенную топологию геологической структуры пласта с чередой «гладких» моделей – от уравнения Бакли-Леверетта до современных –, расширенных термодинамикой [1]. Введение в модель фрактальных представлений не изменило её характера – переход к дробным показателям в распределении параметров и дробному исчислению по-прежнему удерживает теорию в гладкой области [4]. Все сказанное относится и к классическим вероятностным методам. Здесь корень проблемы в неопределимости самой вероятности и вероятностной меры, в частности на сетях – естественно-природной топологии пластов.

Особенности математики сетей. Сетевые структуры – единство разделено-связанных объектов, специфичны преобразованием локальных движений в глобальные свойства всего объекта. Сети и графы обычно рассматриваются как несущее пространство, на котором развиваются те или иные процессы. Если же это несущее множество само является самостоятельным параметром/переменной задачи, как в случае течения жидкостей в пласте, то это уже выход за стандартные рамки методов. Сети, графы, гетерогенные среды принадлежат области фрактальной геометрии. Фракталы являются посредниками между процессами и явлениями различной физико-химической природы и математическими пространствами различной топологической размерности. Во фрактальном пространстве можно математическими методами получать нематематические, предметные результаты и, наоборот, в нём положения естественных наук становятся математически содержательными. Поэтому упомянутые выше теоремы Бета и Крейга автоматически выполняются.

Арифметические операции – сложение, умножение, вычитание и деление, входящие в аксиомы математических методов, подразумевают механическую составляющую, существование которой следует из геометрической теоремы Лиувилля: умножению соответствует растяжение/сжатие объекта, сложению – параллельный перенос. Эта составляющая представляет собой скрытую «паразитную» причинно-следственную структуру, которая навязывается моделью данной сетевой задаче.

Однако в сетях и графах переменные определяют в вершинах и/или на ребрах, и, потому они имеют двойную координатизацию: в физическом пространстве и во внутренней структуре, характеризующейся связностью, достижимостью. Эти координатизации представлены целостностью объекта и определяют его в качестве *уникального.* Тем самым сети являются основой для моделирования уникальности. Поэтому в сетях арифметические операции применяемой модели игнорируют внутреннюю структуру графа, т.е. от уникальной конкретной задачи переходят к какой-то задаче «навеянной», например, методами осреднения. В этом и состоит основная помеха в применении методов математической физики к моделированию *конкретных* систем. Поэтому, чтобы сделать сеть *«отдельной переменной»*, с тем, чтобы отразить её влияние на картину течения в пористых средах, следует рассмотреть её в более широком пространстве. Однако, ситуация здесь более сложная. Как было показано О.Куайном и другими авторами, основная операция линейного языка, на котором пишутся все научные работы – конкатенация, эквивалентна сложению и умножению, т.е. также «инфицирована» механикой. Выход дает применение арифметики Прессбургера в теореме Гёделя о неполноте. Эта арифметика имеет отрицания, но не имеет противоречий, что позволяет вводить в модель различные, несводимые друг к другу языки. В итоге получается «совместно-несовместная» системы уравнений.

Числовая асимметрия – математика фракталов. Фракталы имеют два истока в математике – нелинейные схемы математической физики и теоретическую информатику (математическую теорию компьютерных процессов – *theoretical computer science, TCS*). Методы математики фракталов лежат в основе современных идей о цифровизации и компьютеризации экономики. Они имеют характер *информационно-математических*, и в единстве с *физико-математическими* образуют базис системного представления объектов.

Пара «*вещественные – р-адические числа»* лежит в основе этого базиса и является формальным аналогом функциональной асимметрии природы – универсальной пары процессов, порождаемой парой сил «притяжение – отталкивание» [5]. Стороны этой пары известны под разными именами во всех науках: сжатие – расширение, энтропия – негэнтропия, конвергенция – дивергенция, динамика – термодинамика и т.д. *р*-Адические числа связаны с дивергентными процессами, а вещественные – с конвергентными. Иными словами, позиционная запись вещественного числа, т.е. запись с различением позиций, представляет собой также код его программы, понимаемый как *р*-адическое число. Если же в ней произведены все операции сложения, то это вещественное число. Формально оба этих процесса, равно как и пара числовых систем неразличимы. Отделить их друг от друга возможно только при сопоставлении. Геометрически они представляют бинарные деревья с противоположно направленными ветвями.

Числовой асимметрией называют их решёточное произведение $U = R \times Z_2 = Z_{1/2} \times Z_2$. Оно имеет вид «бабочки» Лоренца – символа нелинейной науки, с двумя лепестками-подпространствами с противоположно направленным временем. Поскольку $R \cong Z_2$, то $U \cong C$; где C – поле комплексных чисел. Этот факт имеет значение для физико-химической компоненты теории, уходящей конями в квантовую область.

Нам в дальнейшем потребуются соотношения $R = inv Z_2$ – вещественные числа получаются инверсией *p*-адических. Рефлексивные свойства задают системное многомерие:

$$Q_2 \cong Q_2^n, \quad R \cong R^n, \quad Z_2 \cong Z_2^n$$

Геометрия числовой асимметрии – сетевая гиперболическая – априори адекватна структуре пласта. В этом пространстве каждый символ, формула, предикат, теория имеют двойной смысл, неразличимый формально, но имеющий различные интерпретации. Это относится и пространственно-временным параметрам, и к причинности. Иными словами имеет место следующая диаграмма проекций общего характера:

$$[R \xleftarrow{conv} \{F(x,c,t,\ldots)] \xrightarrow{div} Z_2\}$$

Принцип переноса – как писать уравнения. Из принципа двойственности для решёток и инвариантности булевой алгебры при переходе от процессов движения к процессам деления, следует, что базовые уравнения инвариантны при смене числовых полей. Этот принцип впервые был сформулирован И.В.Воловичем (1987г.).

1. Новизну метода определяет тот факт, что любое (под)множество физического пространства получают как проекцию из нульмерного, *информационного* пространства, любое подмножество полной меры (объект любой формы) в физическом пространстве может быть получено проекцией из нульмерного, и, точно так же, любое множество слов машины Тьюринга (любой фор-

мальный текст) воспроизводят проекцией из него же [6 - 8]. Залогом этого положения являются компьютерные методы визуализации, различные редакторы, методы обработки образов (о компьютере – ниже). Естественным числовым представителем нульмерных множеств являются множества *p*-адических чисел Z_p и Q_p.

2. Из *алгебры* известно, что существует только два простых числовых поля – поле вещественных чисел *R* и поле *p*-адических чисел Q_p. Математика требует, чтобы p = 2,3,5, …,43,… было простым числом. Однако, можно положить p=2 без ограничения общности.

3. **Сведения о *p*-адических числах.** Интерпретация *p*-адических чисел дана в 1955-57гг. С.Уламом, который трактовал их как инварианты бесконечного деления материи [9]. Позже в 1984 г. А.Н.Паршин расширил это понимание до интенсионала логического и любого языкового выражения [10]. Тем самым евклидово пространство было расширено координатой делимости, специфичной для фрактальной геометрии. Она известна как интенсивная ось, декомпозиция в теории систем, масштабное пространство [11], ось размеров частиц, координата масс и мультипликативная ось в физике, углубление в детали в теории систем. Как отдельная степень свободы, она впервые рассмотрена в [12].

Эта ось-пространство *p*-адических чисел формирует числовой образ внутреннего пространства объекта – пласта [13]. Её отличие от физических осей в том, что в модель включена масштабная вариативность качеств, которая определяет переходы между теориями от механики и термодинамики до химии, и квантовой теории. Подробно физика этой координаты рассмотрена в [11].

В этом случае многомасштабный анализ становится логически естественным. Он не только объединяет физико-химические разнопредметные теории, но выходя за пределы пласта, осуществляет связь внешней системной динамики с внутрипластовой. Для управления социально-экономическими системами эта ось организует декомпозицию на подсистемы, подчиненность технологических операций, иерархию компетенций и полномочий сотрудников. Разработка принципов менеджмента в рамках этих представлений в настоящее время представлена в[14].

3.1. Степенные ряды. Р-адические числа представляют формальными степенными рядами по степеням основания равного одному их простых чисел $p = 2,3,5, \ldots, 13, \ldots 41, \ldots$:

$$
\begin{aligned}
x &= a_{-n} \cdot p^{-n} + a_{-n+1} \cdot p^{-n+1} + \ldots + a_{-1}p^{-1} + a_0 + a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2 + \ldots + a_k \cdot p^k + \ldots = \\
&= \sum_{i=-n}^{\infty} a_i \cdot p^i \qquad a_i \in A = \{\, 0,1,2,\ldots, p-1 \,\}
\end{aligned}
\tag{1}
$$

Числа/символы в разложении (1) называют цифрами. *Р*-адические числа изоморфны степенным рядам и наследуют их многие универсальные свойства. В частности, как следует из практики программирования, степенные ряды являются первичным материалом определения всех видов функций.

3.2. *Слова.* Второе определение *p*-адических чисел – в виде последовательности строки цифр/символов:

$$
x = a_{-n}a_{-n+1} \ldots a_0 a_1 \ldots a_k \ldots \tag{2}
$$

совпадает с текстом в алфавите $X_p = \{0,1,\ldots p-1\}^N$. В информатике наиболее известен алфавит двухэлементного множества:

$$
X_2 = 2^N = \{0,1\}^N = \{true,\ false\}^N = \{\wedge, \vee\}^N = \ldots
$$

В качестве символов алфавита этого множества могут выступать любые сущности, связанные отношением отрицания-инволюции, например $\neg\wedge = \vee, W = \neg M$. Первое представление (1) употребляют в теории чисел и алгебре, второе (2) в теоретической информатике как основной тип данных. В представлении *геометрии пласта* естественно принять 0= $\circ$(«пора»), 1= $\bullet$ («зерно породы»). Тогда (2) становится второй, *2*-адической, координатизацией пористой среды, дополнительной к евклидовой. Она строится по данным *3D* моделирования пласта.

3.3. *Измерения.* В основе теории измерений лежит *теорема Островского* о двух типах измерительных шкал – аддитивной и мультипликативной: «*Поле* *рациональных чисел допускает только два вида нормирования обычный, архимедов - $|x|_\infty$ и p-адический, неархимедов - $|x|_p^\alpha\ \alpha>0$, модули*». Величины (модули, нормы, метрики) *p*-адических чисел определяют метриками на Q_p двух видов:

а) Аддитивная версия:

$$\begin{aligned}&\forall x\in Q_p\ \ \nu_p(x):Q_p\to N \qquad \nu_p(x)=ord_p(x)=-n \quad \text{в разложениях (1) и (2)}\\&\nu_p(xy)=\nu_p(x)+\nu_p(y)\ \ \text{и}\ \ \nu_p(x+y)\ge\min\{\nu_p(x)+\nu_p(y)\}\end{aligned}\tag{3.1}$$

б) Мультипликативная версия:

$$\begin{aligned}&|x|_p^\alpha : Q_p\to R\,,\ |x|_p^\alpha=p^{-\alpha\cdot n},\quad \alpha>0\\&|x\cdot y|_p^\alpha=|x|_p^\alpha\cdot|y|_p^\alpha\quad \text{и}\quad |x+y|_p^\alpha\le\max\{|x|_p^\alpha,|y|_p^\alpha\}\end{aligned}\tag{3.2}$$

Они соответствуют аддитивной R^+ и мультипликативной прямым $R^\times$. Метрика (3.2) называется ультраметрикой. Она *неопределима* вещественными числами и, поэтому, является случайной в физическом мире. Вместе с обычным модулем она образует пространство неопределённости, что отражено в аксиомах теории возможностей, антиподе классической вероятности [15, 37].

Поле Q_p , как модель, является двойственным объектом. Как топологическая алгебра оно есть, с одной стороны, модель материи – фрактал, с другой – числовая система. Тем самым оно является числом со свойствами материи или материей с числовыми свойствами. Это отношение известно как двойственность Стоуна. Двойственность Стоуна имеет ключевое значение в синтезе идей цифровизации с материальной частью производства. Она определяет, в частности, адекватность управления в реальном времени, технологических решений разного рода. Двойственность Стоуна прямо выводит на критерий адекватности детерминированных моделей.

Свойства метрик на Q_p играют главную роль в согласовании алгебраических и топологических свойств *p*-адических чисел с предметными измерениями и структурой материи процессов фильтрации.

3.4. *Инволюция-отрицание.* Связь вещественных и *p*-адических чисел понимают как двойственность смысла строки символов, и в частности, одного символа простого числа p. Из (1) видно, что «правильную» запись вещественного числа получают из p-адической отражением относительно десятичной точки. Эту двойственность изображают конечной в обе стороны строкой:

$$x_*^* = a_{-n}p^{\pm n} + a_{-n+1}p^{\pm n \mp 1} + \ldots + a_0 + a_1 p^{\pm 1} + a_2 p^{\pm 2} + \ldots + a_k p^{\pm k}$$

В этой записи двойные знаки степеней p символизируют возможность восприятия строки в двух смыслах. Вещественные числа получают из (1)-(2) сложением всех разрядов и тогда все цифры исчезают, p-адические – различением цифр в позиционной записи. Метрики имеют вид

$$x \in R,\ |x|_\infty = |x|, \quad \xi \in Z_2\ \ |\xi|_2 = p^{-(-n)} \tag{4}$$

И если не учитывать способ их генерации, то на вещественной оси они неотличимы. Нетрудно проверить, что эти две величины связаны гиперболическим отношением, известным в естествознании как степенные законы, которое позволяет их различать по поведению:

$$|x|_\infty = c \cdot |x|_2^D \tag{5}$$

где D – фрактальная размерность.

Как вещественное число представляют точкой, моментом времени, так p–адическое – распределённым объектом, строкой, алгоритмом, словом. Тем самым в p-адических числах сопрягаются физика с информатикой. Число $u \in U$ имеет вид $u = x \cdot \xi,\ \ x \in R,\ \xi \in Z_2$. Наблюдаемые величины получают применением двух метрик – произведением двух величин чисел (см. ниже):

$$\|u\| = |x|_\infty \cdot |\xi|_2 \tag{6}$$

В физическом пространстве они есть функции двух переменных – детерминированной и случайной. По принципу переноса – базовые соотношения физики остаются верными и для U, т.е. выраженные числами $\|u\|$.

3.5. *Случайность.* Вещественные и p-адические числа являются взаимно неопределимыми (ортогональными). Это является первичной интерпретацией случайности в самом широком её смысле. Поэтому мы получаем детерминированную модель случайности и флуктуаций [16]. Этот факт имеет далекое продолжение в виде теории возможностей как модели неопределённости от физических процессов до принятия решений.

3.6. *Информатика. Компьютер.* Интерпретация *p*-адических чисел в виде слов (2) связывает их с формальными языками теоретической информатики – совпадает синтаксис и топология, теорией доменов *(domain theory)*. Отсюда следуют возможности теоретического анализа и моделирования компьютерных изображений. Развитое в последние годы *3D* моделирование структуры пласта [17, 18] дает возможность второй числовой, *p*-адической координатизации пространства пласта, которая расширяет моделирующие способности метода.

Универсальные свойства фракталов и *2*-адических чисел воплощаются в свойствах современных компьютеров. Принципиальным преимуществом предлагаемой схемы является то, что компьютер является материализацией числовой асимметрии. Это значит, что все распределённые образы на мониторе имеют *2*-адическую координатизацию в его памяти и, тем самым представляют собой числовые множества, с которыми можно оперировать по всем формальным правилам. Компьютер, таким образом, является *теоретическим*, а не вспомогательным объектом [19]. Прямым следствием этого является то, что методы цифровизации сопряжены с некоторой физикой, материальной частью системы и должны рассматриваться совместно.

Тем самым пористый пласт, как и вся система разработки, имеет второй – цифровой (*p*-адический) образ. Этим обеспечивают интегрирование подземной гидромеханики в общую цифровую структуру разработки месторождения. Существенным отличием этого результата от современных рассуждений о цифровизации, является то, что объекты представлены в двойном числовом виде. Кроме того, через *2*-адические числа объект разработки связывается с развитыми методами анализа образов [20, 21]. Это дает возможность глобального представления пласта числовым полем, на котором, далее, разворачиваются моделирующие структуры нужного типа. Здесь исключаются методы осреднения структуры пласта и математика переходит на уровень моделирования уникальности.

4. *Приложения.* В данном разделе приводятся некоторые модели системы разработки.

4.1. *Геометрия пласта как независимый параметр.* По данным *3D* – моделирования строится компьютерный образ пласта как сети пор σ, насыщенности s, проницаемости k. В итоге пласт снабжается числовым содержанием: $V = Z_2^\sigma \times Z_2^s \times Z_2^k$. Единой мерой различных физико-химических параметров здесь служит мера возможности – ультраметрика (3). Тензорные методы компьютерного анализа изображений с мерой возможности *(grey-scale images)* [22] позволяют численно моделировать его особенности, неоднородность, слоистость и т.п. При необходимости учета каких-либо причин деформаций пласта, изменение его структуры отражается уравнением (см. ниже).

4.2. Решётка пласта L имеет два неразделимо связанных подпространства:

$$\begin{array}{c} R \leftarrow R \times Z_2 \rightarrow Z_2 \\ \cup \\ L \end{array} \qquad (7)$$

В пористой среде, в каждом из них, формируются два первичных процесса, которые в точности повторяют функциональную асимметрию природы, – линейный перенос и диффузия [23]. Они определены в каждой вершине сети, и определяют её как седловую точку. Это значит, что *геометрия пласта является гиперболической* с отрицательной гауссовой кривизной [24]. Связь метрик (5) определяет два типа причинности гидромеханики пласта: взаимовлияния диффузии/перколяции и переноса.

Опишем схему вывода уравнения фильтрации. Выделенный объем описывается в двойной системе координат

$$(V(x,t) \subset R^3) \leftarrow V \rightarrow (V^*(\xi,\tau) \subset Z_2), \qquad (8)$$

здесь x, ξ, t, τ – пространственные и временные координаты R и Z_2, соответственно. Все измеряемые величины описываются рациональными числами Q, которые являются комбинацией вещественных R и p-адических Z_2. Они имеют вид

$$x \in \langle R \oplus \{Q\rangle \oplus Z_2 \} \qquad (9)$$

В (9) пересекающиеся пары различных скобок означают двойную природу измеряемых величин. Каждая переменная $x \in Q$ имеет два смысла – как параметр непрерывного объёма, например, плотности ρ соответствуют угловые скобки, и как плотность функции распределения неопределённости φ – фигурные скобки:

$$\langle \rho \leftarrow \{x\rangle \rightarrow \varphi\} \qquad (10)$$

Двойственность модели можно для краткости записать в логическом виде. Например, уравнение неразрывности *(continuity equation – CE)* для плотностей массы и возможности («жидкости вероятности») имеет вид утверждения:

$$|= CE(\rho, x, t) + CE(\varphi, \xi, \tau) + CE\,(V(x, \xi, t, \tau)) = 0 \qquad (11)$$

Здесь знак |= означает истинность по физическому смыслу. Третье слагаемое – уравнение для движения геометрии объёма в двух подпространствах течения, которое также имеет вид уравнения неразрывности (вывод см. в [25.]). Пользуясь свойством ортогональности (неопределимости) метрик $U \cong C$, образующих изоморф комплексных чисел (11) можно записать в виде вещественной «действительной» и «мнимой» p-адической частей.

$$\begin{aligned} &CE(\rho, x, t) \; + CE_R\,(V(x, \xi, t, \tau)) = 0 \\ &CE(\varphi, \xi, \tau) + CE_{Z_2}\,(V(x, \xi, t, \tau)) = 0 \end{aligned} \qquad (11^*)$$

Исходными для вывода уравнений типа (11) являются законы сохранения в слабой, интегральной форме. Особенность в том, что здесь используется интегрирование по переменному объему. Отсюда обычным образом выводится общее уравнения неразрывности для жидкости материи и «жидкости возможности» вместо вероятности.

Этот вариант показывает непосредственную связь подхода с известными фактами теории фильтрации. Однако сильная неоднородность пласта формально выражается в том, что в законе сохранения масс начинает сказываться структура породы, что приводит к различным формам фронта течения (известный феномен «вязких пальцев»). В этом случае применима идея Ю.П.Сырникова [26]. Вместо *теоретических абстрактных вероятностных функций распределения*, не имеющих материальных референтов и, поэтому, не могущих быть включенными в уравнения материальных процессов, он рассматривает *фактическое распределение* физических/термодинамических характеристик по вершинам сети. Тогда матрица смежности такой сети, оснащенная этими параметрами, оказывается матричной формой привычных характеристик – плотности, энергии, температуры и т.д. Отсюда усматривается переход к матричной форме термодинамики на сетях. В этом случае числовая асимметрия принимает вид сопряжения энергетического и энтропийного подпространств (например, в уравнении Гиббса). Преимуществом такого подхода является сочетание структурной информации, представленной матрицей смежности с числовыми характеристиками физической теории, т.е. путь к моделированию *уникальности.*

В сетевых моделях, связанных с переносом вещества, основным инструментом является матрица смежности M и матрица степеней вершин D сети G, которые объединяются в матрицу лапласиана L [27]:

$$L = D - M, \qquad L : G \to R$$

Тогда получается аналог уравнения теплопроводности для движения выбранной субстанции ϕ:

$$\frac{d\,\phi}{d\,t} + k \cdot L\phi = 0 \qquad (12)$$

Если рассмотреть уравнение (12) одновременно над полем действительных и p-адических чисел, разделив, как в (11) перенос и диффузию, то придём к сетевому/матричному аналогу уравнений теории фильтрации. Формально матричные уравнения тождественны обычным «точечным» уравнениям и зависимостям [28]. Поэтому для матриц в первом, базовом приближении верна диаграмма числовой асимметрии (аналогично (8) и (9)) $[R \xleftarrow{conv} \{M\} \xrightarrow{div} Z_2\}$. Сеть, таким образом, описывается двойственно/двухмасштабно – по горизонтали, обычными матричными уравнениями, и по вертикали, по координате делимости, аппаратом кронекеровских матриц (см. [12]).

Тогда с учётом принципа переноса в форме получим:

$$R \models M \Leftrightarrow Z_2 \times Z_2 \models M \tag{13}$$

То есть, уравнения, полученные в вещественных числах, верны для их матричного варианта на нерегулярной сети. Здесь знак |= означает «истинно по физическому смыслу». Матрицы наследуют числовую двойственность – произвольная матрица может быть записана как адамарово “$\circ$”, поэлементное, произведение матриц:

$$\begin{gathered} M(u_{ij}) = M(x_{ij}) \circ M(\xi_{ij}) \\ M(\|u_{ij}\|) = M(|x_{ij}|_\infty) \circ M(|\xi_{ij}|_2) \end{gathered} \tag{14}$$

В частности такой вид будут иметь все основные матрицы графа системы: смежности, инцидентности, достижимости, расстояний и т.п. Таким образом, получается числовая связь между материальной и идеальной компонентой системы и структура как геометрический фактор вводится в динамику.

4.3. *Цифровизация.* Здесь мы приведем только основное условие содержательной цифровизации, которое может быть развито компьютером как теоретическим инструментом. Пласт вместе с системой разработки представляет собой целостный объект. По нашему подходу он имеет второй *2*-адический образ Z_2 . Тогда связь информатики и физики видна из голограммы системы (подробнее см. [3]). Варианты формального содержания Z_2 в связи с другими разделами математики возникают по наследству от канторова множества $C \cong Z$:

$$\begin{gathered} C \cong Z_2^{system} \cong \exp(C) \cong 2^C \cong Z_2 \cong [IFS \equiv \{0,1\}^N] \cong \\ \cong [Z_2 \to Z_2] \cong C(Z_2, Z_2) \cong H \cong C_{Bool} \cong C_{Stone} \equiv C. \end{gathered} \tag{15}$$

Здесь знаки эквивалентности (изоморфизма) означают по порядку слева направо:

C_{matter} – модель делимой материи из фрактальной теории; C – экспоненциально полно, то есть системные преобразования не меняют объект. Такое распределение материи представляет собой спектр функций истинности булевой алгебры (логика встроена в систему). Это материя с числовыми свойствами, Z_2 есть топологическая алгебра (сама себе вычислитель). Такое строение материи (нульмерное, дисконтинуальное, фрактальное) совпадает с формальными языками теоретической информатики, является доменом в теоретической информатике (итеративная система функций – *IFS*, является центральной техникой порождения фракталов) (цифровизация). Это символическое пространство, область действия символической динамики (динамика цифровизации). Как *решётка*, она совпадает с пространством непрерывных функций над собой (единое функциональное пространство для пласта и системы разработки) Такой числовой или алгебраический образ материи представим своим полем непрерывных функций по теореме о двойственности Стоуна (единство информационного и материального). Тогда система разработки, в силу рефлексивности $Z_2 \cong Z_2^n$ принимает вид произведения всех членов (15), что формально означает целостность, согласованность всех её процессов – управленческих и физических.

4.4. *Динамика системы.* Основными отличиями от физики являются цель и системообразующий фактор системы. В пространстве числовой асимметрии они получают естественное выражение.

Целью обычно является желаемое, прогнозируемое состояние системы в будущем времени. Это состояние неким образом формулируется человеком за горизонтом *физической* наблюдаемости. Упрощая, целью можно назвать смысл существования/развития системы, помещённый в *нефизическое, неевклидово* будущее. Цель никогда не указывается координатным способом как точка на оси, в пространстве, но всегда возникает в поле (умо)зрения человека. Таким образом, сознание, компетенция ЛПР оказываются частью системы – p-адические числа воспроизводят его основные свойства.

Соответственно возникает понятие *системообразующего фактора* как покрывающего графа-сети с начальной точки в виде цели и причинностью обратной физической (нисходящей причинностью).

Уравнения движения начинаются с установления баланса для заданной физической величины. В нашем случае системы изменяются под действием внешних и внутренних факторов. Из всех уравнений баланса наиболее общим представляется закон сохранения массы Известно, что этот закон справедлив для всех экстенсивных физических величин – массы, заряда, момента и т.д. Это, в свою очередь, значит, что он не зависит от размерностей физических величин и является чисто геометрическим фактом – сохранения массы при её движении или преобразовании из конвергентного состояния в дивергентное. В этом смысле закон сохранения массы имеет междисциплинарный характер и его применение в теории систем напрашивается само собой. Имеем диаграмму

$$CE(\rho, V) \xleftarrow{\wedge} m = \int_V \rho \cdot \pi \cdot dV \xrightarrow{\vee} CE(\pi, V^*) \qquad (16)$$

Здесь, π – мера возможности, V и V^* – представления объема системы. Понятие объема, размера системы S сводится к понятию структуры, несущей все её характеристики и свойства. Матричным аналогом закона сохранения в слабой форме будет

$$M_S^J = \rho^j \cdot \pi^j \cdot A_S = const \qquad (17)$$

Здесь: $J = 1,2,\ldots,M$ – число различных факторов, действующих на S; A_S – матрица смежности структуры S, $A \propto V$; $\rho^j \in R$ – матрица плотности j-того физического фактора, действующего на систему и распределённого по вершинами структуры. $\pi^j \in Z_2$ – матрица мер возможностей, приписанных вершинам структуры S. Ими могут быть какие-либо интегральные финансовые показатели, принятые в данном виде деятельности.

Дифференцированием (17) по двум подпространствам, получим матричный аналог уравнения сохранения массы, вычисленный в предположении «подвижного объёма» [29]. Однако, в отличие от механики сплошных сред изменение объёма предполагается и по координате делимости Z_2. Этим отражается диссипация структуры системы.

$$\frac{d\,M^j}{d\,T}=\left[\,CE_R(\rho^j)\circ\pi^j+\rho^j\circ CE_{Z_2}(\pi^j)\,\right]\circ A_S+\rho^j\circ\pi^j\circ CE_U(A_S)=0 \qquad (18)$$

$$J=1,2,\ldots,M$$

Здесь CE есть оператор левой части уравнения неразрывности, переводящий плотности физических величин в скорости их диссипации – матрицы $v_\rho=\{v_1,\ldots,v_N\}_\rho,\ v_\pi=\{v_1,\ldots,v_N\}_\pi,\ v_A=\{v_1,\ldots,v_N\}_{A_S}$; «$\circ$» означает адамарово, поэлементное произведение матриц. Это *"антиномичная"* система уравнений связывает различные левые части с одной и той же правой – движением/изменением матрицы смежности структуры системы. Для A_S $\rho_i=1,\ i=1,2,\ldots,N$, где N – число вершин графа, равное порядку A_S. Рассмотрим (18) для одного фактора J=j. Вспоминая взаимную неопределимость вещественных и p-адических чисел, выражаемую мнимой единицей $Z_2=i\cdot R$, разделим вещественную и мнимую части в уравнении (18). Получим пару уравнений:

$$\begin{aligned}&CE_R(\rho^j)\circ\pi^j+\rho^j\circ\pi^j\circ CE_R(A_S)=0\\&\rho^j\circ CE_{Z_2}(\pi^j)+\rho^j\circ\pi^j\circ CE_{Z_2}(A_S)=0\end{aligned} \qquad (19)$$

Первое из уравнений (19) действует в евклидовом пространстве и является внешним по отношению к системе, второе – в Z_2 и отражает движения внутреннего пространства системы. Очевидно (19) инвариантны при переходе от системы разработки к физике пласта. Из обратных соотношений линейных пространственно-временных величин $dt=d\tau^{-1}$ и $d\,x=d\,|\,\xi\,|_2^{-1}$ следует, что уравнения действуют попеременно: соответствующие производные одновременно не существуют. Если имеет смысл первое дифференциальное уравнения, то второе, из-за практического обнуления производных, переходит в разряд случайных возмущений и/или побочных эффектов. И наоборот. Случай, когда (19) переходят в разряд конечно разностных уравнений, является типичным и отражает явление взаимодействия внутреннего состояния системы и внешней среды.

Разрешая обычным матричным способом (19) относительно A_S и преобразуя полученные уравнения к виду, разрешенному относительно векторов v_ρ, v_π, v_A, придём к матричным уравнениям:

$$\begin{aligned} \Phi^j \circ v_\rho^j + A_S \circ v_A &= 0 \\ \Psi^j \circ v_\pi^j + A_S \circ v_A &= 0 \end{aligned} \tag{20}$$

Откуда, переходя к матричным нормам, получим уравнения, для связи влияний внешнего и внутреннего пространств, которые могут служить ещё и оценкой устойчивости структуры системы:

$$\begin{aligned} \left\| v_\rho^j \right\| &\le \left\| (\Phi^j)^{-1} \right\| \cdot \| A_S \| \cdot \| v_A \| \\ \left\| v_\pi^j \right\| &\le \left\| (\Psi^j)^{-1} \right\| \cdot \| A_S \| \cdot \| v_A \| \end{aligned} \tag{21}$$

Соотношения (20) и (21) имеют симметричный вид. В зависимости от целей задачи независимыми переменными могут быть как физические факторы (матрицы Φ и Ψ) так и сама геометрическая структура системы. В целом уравнения (20) и (21) формализуют действие целого на части, т.е. нисходящую причинность. В качестве целого выступает «структура= матрица смежности».

Согласование действия физических и внутренних факторов, сохраняющих структуру можно усмотреть из следующих рассуждений. Рассмотрим вариации матриц $\Phi, \Psi, A_S \to \Phi + \Delta\Phi,\ \Psi + \Delta\Psi,\ A_S + \Delta A_S$. Тогда (20) примут вид:

$$\begin{aligned} \Delta\Phi^j \circ v_\rho^j + \Delta A_S \circ v_A &= 0 \\ \Delta\Psi^j \circ v_\pi^j + \Delta A_S \circ v_A &= 0 \end{aligned} \tag{22}$$

Откуда:

$$\left\| \Delta\Phi^j \right\| \le \frac{\|\Delta A_S\| \cdot \|v_A\|}{\left\|v_\rho^j\right\|} \tag{23}$$

$$\| \Delta\Psi^j \| \le \frac{\|\Delta A_S\| \cdot \|v_A\|}{\|v_\pi^j\|}$$

$$J=1,2,\ \dots\ , M$$

В (23) заключено решение «антиномичных» уравнений на основе непрерывной зависимости решения линейных уравнений от вариаций матричных коэффициентов. Это соотношение единообразно для всех $J=1,2,\ \dots\ , M$ ограничивает вариации физической структуры в зависимости от структуры геометрической. Произведение либо конъюнкция (на сети) этих интервалов определяет область устойчивости системы, в зависимости от её геометрической структуры A_S. Иными словами, все воздействия на систему каким-то образом, естественным или способом управления, согласовываются условием сохранения области устойчивости. Её конкретный вид зависит от задачи. Например, естественной формой может служить равномерная метрика:

$$St_S \le \max_{J=1,\dots M} \left\{ \|\Delta\Phi^J\| \right\} \times \max_{J=1,\dots M} \left\{ \| \Delta\Psi^J \| \right\} \qquad (24)$$

Одна из важных задач, возникающих при создании и эксплуатации нефтегазодобывающих предприятий, – согласование развития/изменения системы с изменениями внешней среды. Эта задача определяет как саму возможность погружения системы в данную обстановку, так и экологический аспект проблемы – влияния функционирования системы на внешнюю среду. В частности, например, пласт с его структурой добывающих скважин можно рассматривать как внешнюю среду для системы разработки, и, наоборот, система разработки со структурой нагнетательных скважин является внешней для физики жидкостей.

4.5. Электротехнические комплексы (ЭТК) нефтегазодобывающих предприятий (НГДП) являются сложными системами. Электропотребление ЭТК имеет ключевое значение для работы всей системы НГДП. Структура ЭТК НГДП, как потребителя электроэнергии, обычно включает 7 общих групп электроприёмников. К ним относят подсистемы потребителей поддержания пластового давления, электроприводов насосов добывающих скважин, потребителей дожимных насосных станций, потребителей процесса компрессирования газа, внутрипромысловой перекачки газа, административно управленческих структур. Основной вклад в электропотребление ЭТК НГДП вносят первые три группы указанных потребителей [30].

Задачами оптимизации ЭТК НГДП являются: минимизация электропотребления при сохранении текущих объемов добычи нефти и газа или/и обеспечение минимального удельного потребления электроэнергии, то есть минимального отношение затраченной электроэнергии к объему добытой скважинной жидкости. Технологические процессы на НГДП взаимосвязаны и их энергоэффективность следует оценивать комплексно. Так, например, можно сократить электроэнергию на привод добывающих насосов за счет увеличения количества закачиваемой воды через нагнетательные скважины, однако при этом общие затраты электроэнергии могут даже возрасти [31].

Прогноз электропотребления ЭТК НГДП можно получить на основе расчета. Для этого необходимо разработать базу данных (БД) электроприемников и соответствующую модель электропотребления ЭТК. БД включает установленную мощность оборудования, коэффициенты загрузки оборудования по мощности, время выполнения операций, планируемый объём скважинной жидкости и данные для расчета потерь электроэнергии в сети электроснабжения ЭТК.

Моделирование ЭТК НГДП целесообразно производить на основе концепции кооперативных эффектов [32], в частности концепции техноценоза. Техноценоз есть сообщество технических устройств и агрегатов аналогичное биоценозу и биогеоценозу [33]. Техноценоз имеет иерархическую структуру и соответствующую ей скейлинговую структуру потребителей, принимает материальные и энергетические потоки, представляет собой для внешнего наблюдателя целостность и имеет возможность эволюционировать. Числовая асимметрия позволяет разработать паранепротиворечивую модель ценоза, включающую величину и иерархическую структуру электропотребления [34,35].

Двухслойная паранепротиворечивая модель ЭТК НГДП имеет вид

$$W_* \leftarrow W \rightarrow W^*, \tag{25}$$

где W_*, W^* – соответственно, ресурсный или энергетический и иерархический или структурный слой (образ) электропотребления ЭТК НГДП; $\leftarrow$ *и* $\rightarrow$ – знаки отображения.

Ресурсная часть модели позволяет получить баланс ЭТК НГДП, иерархическая – зафиксировать границы и связи между потребителями электрической энергии.

Паранепротиворечивая модель позволяет также ввести и исследовать меры, размерности и нормы слоев (пространств) ЭТК НГДП.

Мера ресурсной части может быть получена на основе покрытия множества электропотребления конечным числом шаров *N(a)* радиуса *a*:

$$W_* = \lim_{a \to 0} N(a)a^2 \tag{26}$$

где *N(a)* – количество шаров покрытия; *a* > 0 – радиус шара покрытия; 2 – размерность ресурсного пространства.

Отсюда видно, что с геометрической точки зрения электропотребление ЭТК НГДП представляет собой площадь, имеющую размерность 2.

Меру иерархической части следует записать в виде

$$W^* = \lim_{a \to 0} N(a)a^d \tag{27}$$

где *d* – размерность иерархического пространства ЭТК НГДП.

Иерархическая структура имеет размерность, которая не равна целому числу. Она представляет собой размерность Хаусдорфа – Безиковича и заключена в диапазоне $1 < d < 2$, поэтому в модели ЭТК НГДП структура представляет собой фрактал. Размерность иерархической структуры находят экспериментально.

Выражение (26) позволяет получить количество электропотребления ЭТК НГДП, а выражение (27) представляет собой числовую характеристику его структуры.

Если рассматривать слои модели как пространства, то можно ввести нормы ресурсной $\|W_*\|$ и иерархической $\|W^*\|$ частей модели. Произведение этих норм по аналогии с произведением норм вещественного и p-адического числового поля [3] позволяет получить значение некоторой величины ЭТК НГДП:

$$\|W_*\| \cdot \|W^*\| = c, \qquad c - const \in W \tag{28}$$

Нетрудно увидеть, что нормы в выражении (28) связаны гиперболической зависимостью.

Гиперболическое распределение норм модели ЭТК НГДП позволяет связать законом масштабирования две измеримые величины – W и V. Такая связь возможна, когда существует такой показатель $d=(lnW)(lnV)^{-1}$, что

$$W = V^d. \tag{29}$$

Выражение (29) также позволяет находить значение V по известному значению величины W и показателя d.

Результат поэлементного расчета электропотребления позволяет осуществлять прогнозирование, нормирование и анализ структуры электропотребления ЭТК НГДП.

Существует проблема расчета электропотребления ЭТК НГДП. Она связана с нечеткостью и неопределенностью БД электрооборудования ЭТК. Указанные характеристики БД обусловлены как отсутствием точных коэффициентов загрузки по мощности для некоторых видов оборудования, так и большим объемом данных, правильность которых достаточно трудно проконтролировать [36]. В тоже время при формировании БД сложной системы следует принять во внимание некоторый компромисс между точностью данных и способом их получения. Неопределенность БД выражают через степень уверенности в том, что данные правильно отражают действительное состояние дел. Меру неопределенности характеризуют через монотонность по включению подмножеств и через непрерывность последовательности вложенных друг в друга подмножеств, включенных в БД. Нечеткость БД характеризуют через размытость границ её подмножеств. Эту характеристику БД можно выразить через градации математического отношения принадлежности теории множеств[15,36,37].

Теория возможностей позволяет показать, что результат поэлементного расчета электропотребления не зависит ни от неопределенности, ни от нечеткости БД электроприёмников ЭТК НГДП.

Теория возможностей в своих основах является билингвой, объединяющей лингвистическую переменную естественного языка и вещественное число, т.е. соединяет число и слово, имеющих единую алфавитную основу. Она является дополнительной к теории вероятностей и основана на двойственности возможности и необходимости. Пространство возможностей по аналогии с пространством вероятностей включает множество событий, алгебру множеств, меру возможности и меру необходимости. Теорию возможностей излагают в терминах полноты знания и информационного содержания событий и поэтому удачно прилагают к БД электрооборудования ЭТК. Традиционное представление теории возможностей, имеет тот недостаток, что не учитывает бинарность основ теории, и в итоге сводится к модели деформируемого твердого тела, которая препятствует введению билингвы возможностей в базовое пространство теории [15,36] .

Паранепротиворечивая модель ЭТК НГДП имеет два несводимых друг к другу основания [34,35]. Эта модель изоморфна модели числовой асимметрии, основанной на двух пополнениях поля рациональных чисел, результатом которых являются поля вещественных и p-адических чисел. Эти числа не могут быть выражены друг через друга. Паранепротиворечивая модель объединяет аддитивную и мультипликативную составляющие электропотребления ЭТК НГДП. Она позволяет получить гиперболическое распределение составляющих электропотребления ЭТК НГДП.

Рассмотрим теорию возможностей с учетом паранепротиворечивой модели электропотребления ЭТК НГДП. Эта теория базируется на решетчатых (сетевых) представлениях[15, 36], отображение которых можно усмотреть и в уровнях системы электроснабжения ЭТК НГДП [33]. Основными операциями решетки являются: *join* (объединение, верхняя грань) и *meet* (пересечение, нижняя грань). Меру возможности вводят аксиоматически и её аксиомы совпадают с аксиомами ультраметрики p-адических чисел паранепротиворечивой модели [15]. Приведем эти аксиомы:

1. Мультипликативная версия, позволяющая измерить размер составляющих на уровне электропотребления

$$|\xi|_p^\alpha = p^{-\alpha \cdot n}, \qquad \alpha > 0 \Rightarrow |\xi + \eta|_p^\alpha \le \max\{|\xi|_p^\alpha, |\eta|_p^\alpha\} \tag{30}$$

2. Аддитивная версия, позволяющая определить координату уровней ветвления (делимости) электропотребления

$$\nu_p(\xi) = ord_p(\xi) = -n = -\ln|\xi|_p^\alpha \Rightarrow \nu_p(\xi + \eta) \ge \min\{\nu_p(\xi), \nu_p(\eta)\}. \tag{31}$$

Эти соотношения связывают теорию возможностей с p-адикой и позволяют заменить в ней вещественнозначное содержание на p-адическое.

Для множества $A \subset Z_2$ функция распределения возможностей имеет вид:

$$\pi(\xi) = |\xi|_p^\alpha, \qquad \xi \in A, \qquad \alpha > 0 \tag{32}$$

Мера возможности для события бесконечного множества A имеет вид:

$$\Pi(A) = \sup\{\pi(\xi) : \xi \in A\} \tag{33}$$

Свойства меры возможности определяют расчетной сеткой. Для любых $A, B \subset Z_2$ выражения возможностей для объединения и пересечения множеств имеют вид

$$\Pi(A \cap B) \le \min\{\Pi(A), \Pi(B)\} = \Pi(meet\{A, B\}) \tag{34}$$

$$\Pi(A \cup B) \ge \max\{\Pi(A), \Pi(B)\} = \Pi(join\{A, B\})$$

Первое из (34) вычисляют в Z_2, второе – в R.

Функция распределения меры необходимости имеет вид

$$N(\xi) = |inv\xi|_\infty \equiv |\xi|_\infty \tag{35}$$

Мера необходимости для события бесконечного множества A имеет вид:

$$S \in R \Rightarrow N(S) = \min|\xi|_\infty \tag{36}$$

Свойства меры необходимости имеют вид:

$$N(A \cup B) \geq \min\{N(A), N(B)\} = N(join\{A, B\}) \tag{37}$$

$$N(A \cap B) \leq \max\{N(A), N(B)\} = N(meet\{A, B\})$$

Связь мер возможности (34) и необходимости (37) устанавливают через инволюцию[3,15].

Величину электропотребления, представленную через рациональное число, выражают через теорему Островского:

$$w = |\xi|_\infty \cdot |\xi|_2^\alpha, \qquad \xi \in Z_2 \tag{38}$$

Электропотребление множества W получают объединением элементарных электропотреблений

$$W = \bigcup_\xi w(\xi) = \bigcup_\xi N(\xi) \cdot \Pi(\xi) \tag{39}$$

Выражение (38) позволяет считать, что функция принадлежности возможности (32) имеет гиперболический вид [15,36].

Поскольку гиперболический вид функции распределения возможности не зависит ни от неопределенности, ни от нечеткости БД, а, именно, этот её вид имеет особое значение для установления закона масштабирования, лежащего в основе методики расчета электропотребления ЭТК НГДП, то следует утверждать, что указанные свойства БД не влияют на методику, а, следовательно, и на результат расчета электропотребления ЭТК НГДП.

Выводы. В качестве пространства-времени числовая асимметрия использует произведение вещественных R и p-адических чисел Z_p $U = R \times Z_p$. Числовая асимметрия формально воспроизводит базовые логические парадоксы теории систем. Как показывает достаточно обширный анализ, сюда входят все базовые философские оппозиции, характерные для всего комплекса естественных наук. Онтологически этим парам оппозиций соответствует функциональная асимметрия природы и её выражение межполушарная функциональная асимметрия мозга человека. Этим обеспечивается, согласно теоремам Бета и Крейга, возможность смыслового моделирования предметных областей.

Из рассмотрения основных понятий теории систем можно сделать вывод, что принятие числовой асимметрии в качестве её теоретико-числовой основы обнаруживает признаки адекватности модели. Это проявляется в её согласии с известными теоремами основ математики, С другой стороны, очевидна её согласованность с устоявшимися положениями системной теории. Это позволяет надеяться на то, что описанная алгоритмическая схема модели может быть развита в детальную расчётную модель, позволяющую далее строить методы управления большими системами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тер-Саркисов, Р.М. Геологическое и гидротермодинамическое моделирование месторождений нефти и газа/ Р.М. Тер-Саркисов, В.М. Максимов, К.С.Басниев, А.Н.Дмитриевский, Л.М.Сургучев. – М.-Ижевск, 2015. – 452с..
2. Шрейдер, Ю.А. Сложные системы и космологические принципы./ Ю.А. Шрейдер. В кн. Герасимова И.А. (ред.) Противоположности и парадоксы. – М., Канон+, 2008. – С.287-317.
3. Маврикиди, Ф.И. Числовая асимметрия в прикладной математике: фракталы, p-адические числа, апории Зенона, сложные системы/Ф.И. Маврикиди.– М., Дельфис, 2015. – 416с.
4. Тарасов, В.Е. Модели теоретической физики с интегродифференцированием дробного порядка/В.Е Тарасов.– М.-Ижевск, 2011. – 568с.
5. Winslow M.D. Force and Nature. Attraction and Repulsion. McMillan, 1869.
6. Lemin A. On Ultrametrization of General Metric Spaces// Proc. Of AMS, vol.131, #3, PP.979-989, 2004.
7. Falconer K. Digital Sundials, Paradoxical Sets and Vitushkin Conjecture//The Mathematical Intelligencer vol.9, #1, p.24-27.
8. Dube S. Undecidable Problems in Fractal Geometry// Complex Systems 7 (1993), P. 428-432.).
9. Улам, С. Нерешённые математические задачи/С. Улам.– М., Наука, 1964. – 168с..
10. Паршин, А.Н. Размышления над теоремой Гёделя. В кн.: Путь. Математика и иные миры. – М.: Добросвет, 2002 – С.67-101.
11. Сухонос , С.И. Масштабная гармония Вселенной/С.И. Сухонос.– М.: 2015. – 283с.

12. Изотов, А.Д. Фракталы/. А.Д.Изотов, Ф.И. Маврикиди.– Самара, СГАУ, 2011. – 128с.
13. Изотов, А.Д.Числовая асимметрия внутреннего пространства некристаллических материалов/ А.Д.Изотов, Ф.И. Маврикиди //Известия Самарского научного центра РАН. 2017, №1, с.3-24.
14. Елина И.Е. Управление: философские аспекты/ И.Е. Елина, А.В. Елин . – М. Альпина Букс, 2009. – 132с.
15. Изотов, А.Д. Теория возможностей в материаловедении// / А.Д.Изотов, Ф.И. Маврикиди //«Прикладная физика и математика» Академии Инженерных наук им. Прохорова. – 2018 – №2 – С.51-58.
16. Изотов, А.Д. Построение статистических кривых по данным измерений в материаловедении/ А.Д.Изотов, Ф.И. Маврикиди //Известия Академии Инженерных наук им. А.М.Прохорова. – 2014 – №4 –с.3 – 7.
17. Дмитриевский, А.Н. Теоретические основы четырехмерного моделирования осадочных бассейнов./ Гл.1, в кн.: Р.М. Тер-Саркисов, В.М. Максимов, К.С.Басниев, А.Н.Дмитриевский, Л.М.Сургучев Геологическое и гидротермодинамическое моделирование месторождений нефти и газа. – М.-Ижевск, 2015. – 452с
18. Закревский, К.Е. Геологическое 3D моделирование/ К.Е. Закревский.– М.: 2009. – 376с.
19. Изотов, А.Д.Компьютер и числовая асимметрия в инженерных науках/ А.Д.Изотов, Ф.И. Маврикиди // Известия Академии инженерных наук им. Прохорова. – 2013 – №3, – С.32-41.
20. Serra, J. Image Analysis and Mathematical Morphology. Academic Press, 1982
21. Nikiel S. Iterated Function Systems for Real-Time Image Synthesis. Springer, 2007.
22. Aja-Fernandez, S. et.al. Tensors in Image Processing and Computer Vision. Springer, 2009.
23. Valavanides, M.S., Payatakes A.C. True-to-mechanism model of steady-state two-phase flow in porous media, using decomposition into prototype flows//Advances in Water Recourses 24 (2001) P.385-407.
24. Hyde, S. et.al. The Language of Shape. Elsevier, 1997, ch.1.
25. Изотов, А.Д. Об одном способе описания течения жидкостей в пористой среде/ А.Д.Изотов, Ф.И. Маврикиди, А.Ф. Максименко // Нефть, Газ и Бизнес – 2008 – №9 – С.61-65.
26. Сырников, Ю.П. Применение методов теории графов для описания структуры воды/ Ю.П. Сырников.// Структура и роль воды в живом организме. Сб.3. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та,1973. – С.50-57.

27. Newman, M.E.J. Networks. Oxford U.P., 2010, part V.
28. Magnus, J.R., Neudecker H., Matrix Differential Calculus. J.Wiley &Sons, 2007.
29. Эглит, М.Е. Лекции по основам механики сплошных сред./ М.Е. Эглит.– М.: МГУ, 2008. –139с..
30. Колесов, В.И. Идентификация макромодели энергопотребления энергетического комплекса нефтегазодобывающего предприятия в метрике обобщенного золотого сечения/ В.И. Колесов, Г.А. Хмара, М.И. Хакимьянов // Промышленная энергетика. – 2019. – № 4. – с.44-48.
31. Гизатуллин, Ф.И. Анализ эффективности электротехнического комплекса нефтегазодобывающего предприятия/ Ф.И.Гизатуллин, М.И. Хакимьянов // Вестник УГАТУ. – 2017, т.21 – № 3(77). – с.54-59
32. Мирзаджанзаде, А.Х. Моделирование процессов нефтегазодобычи. Нелинейность, неравновесность, неопределенность/А.М. Мирзаджанзаде, М.М. Хасанов, Р.Н. Бахтизин. – М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 368с.
33. Кудрин, Б. И. Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические Н-распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта /Б. И. Кудрин. В кн.: Философские основания технетики. Вып.19. "Ценологические исследования". – М.: Центр системных исследований, 2002. – с.357-412.
34. Хорьков, С.А. Числовая модель электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия / С.А. Хорьков // Промышленная энергетика. – 2018. – № 5. – с.44-51
35. Хорьков, С. А. Проблема расчёта электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, модели и методики для её решения: монография /С. А. Хорьков.– Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2019. – 128с.
36. Хорьков, С.А. Теория возможности при расчете электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия/ С.А. Хорьков: Федоровские чтения-2019: XLIX Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы (Москва 20 – 22 ноября 2019) / под общ. ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. – М.: Издательский дом МЭИ, 2019. – с.90-94.
37. Дюбуа, Д.Теория возможностей. Приложения к представления знаний в информатике./ Д., Дюбуа, А. Прад. Пер с фр. – М.: Радио и связь., 1990. – 288с.
38. Изотов, А. Д. Математический базис инновационных технологий нефтегазовой промышленности [Электронный ресурс] / А. Д. Изотов, Ф. И. Маврикиди, С. А. Хорьков // Управление техносферой. - 2019. - Т. 2, вып. 4. - С. 357-392.

24. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЦЕНОЗОВ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ*

Аннотация. Целью настоящего раздела является исследование техноценозов предприятий нефтегазодобычи при помощи математических моделей. Объектом исследования является техноценоз предприятий нефтегазодобычи, представляющий природно-техническую систему, которая имеет гиперболическое распределение элементов, получает материальный, энергетический или информационный ресурс и представляет собой эволюционирующее целое образование. Математическое моделирование на основе числовой асимметрии и паранепротиворечивой модели техноценоза позволяет ответить на вопросы: о связи структуры и количества ресурса ценоза; о законах формирования структуры ценоза; о средствах описания ценоза; о связи между экспоненциальным и степенным распределением ценоза; о связи между ресурсами на одной гиперболической структуре ценоза; о границах ценоза; о статистике в ценологии; о применении теории возможностей в ценологии; о качественной оценке структурной устойчивости ценоза; о геометрической модели ценоза. Представленный подход к моделированию техноценозов проверен на практике.

Ключевые слова: техноценоз, математическая модель, структура и ресурс техноценоза, закон масштабирования.

В книге [1] изложены проблемы моделирования процессов нефтегазодобычи и рассмотрены вопросы теории самоорганизации сложных систем, сформированных по типу ценозов, включая самоподобие фракталов и гиперболических распределений случайных событий. Подобные распределенные системы встречают в различных видах научной и практической деятельности под названием биоценозов, биогеоценозов, зооценозов, социоценозов, техноценозов [2] и других видов сложных систем. Количественно ценозы описы-

* Первоначальный вариант опубликован: Маврикиди, Ф. И. Математическое моделирование техноценозов предприятий нефтегазодобычи / Ф. И. Маврикиди, С. А. Хорьков // Современные технологии извлечения нефти и газа. Перспективы развития минерально-сырьевого комплекса (российский и мировой опыт) : III Междунар. науч.-практ. конф. имени В. И. Кудинова : сб. материалов конф. /// Всерос. науч.-практ. конф., М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», Ин-т нефти и газа им. М. С. Гуцериева, Науч.-образоват. центр «Инновационные технологии нефтедобычи» им. В. И. Кудинова ; сост.: В. Г. Миронычев, С. Б. Колесова. Блюменфельд Л.А. Решаемые и нерешаемые проблемы биологической физики. Изд. стереотип. – М.: Едиториал УРСС, 2014. –Ижевск : Удмуртский университет, 2020.

вают гиперболическими зависимостями (распределениями). Такие зависимости называют также степенными распределениями, поскольку показатель их степени отличается от показателя гиперболы, который строго равен 1. Известны степенные законы Парето. Лотки, Ципфа, Брэдфорда, Вильямса и ряд других. Причем закон Парето представляют в частотной форме, а законы Ципфа в ранговой форме. Обобщенные степенные законы называют законами Парето-Ципфа. И хотя множества (сообщества), описываемые этими законами, не называют обычно ценозами, по сути дела они являются таковыми.

Ценоз представляет собой сложную природную, искусственную или природно-искусственную систему, имеющую гиперболическое распределение элементов, получающую материальный, энергетический или информационный ресурс и представляющую собой эволюционирующее целое образование [2,3].

Исследование техноценозов, как элементов техносферы, необходимо для:

1) нахождения связи структуры и количества ресурса ценоза;
2) установления законов формирования структуры ценоза;
3) выбора средств описания ценоза;
4) установления связи между экспоненциальным и степенным распределением ценоза;
5) установления связи между ресурсами на одной гиперболической структуре ценоза;
6) установления границ ценоза;
7) анализа законов статистики в ценологии;
8) применения теории возможностей в ценологии;
9) получения качественной оценки структурной устойчивости ценоза;
10) построения геометрической модели и решения ряда других вопросов.

Построение модели ценоза, позволяющей ответить эти вопросы, встречает определенные трудности, связанные с тем, что ценоз в некотором смысле противоречив. Противоречие возникает потому, что ресурс, получаемый ценозом аддитивен, конечен и обозрим, а структура – мультипликативна и может быть ограничена лишь искусственным путем[3].

В основе подхода к моделированию ценоза, развиваемого авторами, лежит числовая асимметрия прикладной математики [4] и паранепротиворечивая модель, объединяющая ресурсные и структурные характеристики ценоза [3].Подход является системным, но в его рамках также рассмотрена негауссова статистика ценозов.

Паранепротиворечивая модель ценоза. Паранепротиворечивая модель, соединяющая ресурс и структуру ценоза, имеет вид:

$$W_* \leftarrow W \rightarrow W^*, \tag{1}$$

где W_*, W^* – ресурсный слой ценоза, выраженный через вещественное число, и структурный слой –, выраженный через *p*-адическое число, соответственно; W – ресурс ценоза, выраженный через рациональное число; $\leftarrow$ и $\rightarrow$ – знаки отображения [3].

Поле вещественных чисел представляет собой, расширение (пополнение) поля рациональных чисел. Поле *p*-адических чисел определяют, для заданного простого числа *p,* как элемент расширения (пополнения) того же поля рациональных чисел. Поле вещественных чисел пополнено за счет архимедовой нормы, а поле *p*-адических чисел – за счет неархимедовой нормы. Свойства архимедовой и неархимедовой норм и индуцируемых ими метрик будут рассмотрены ниже.

Мера ресурсной части ценоза с геометрической точки зрения представляет собой площадь, имеющую размерность 2.

$$W_* = \lim_{a \to 0} N(a) a^2, \tag{2}$$

где *N(a)* –количество шаров покрытия*, a>0* –радиус шара покрытия, 2– размерность ресурсного пространства.

Мера структурной части ценоза изоморфна мере Хаусдорфа – мере фрактала[5]

$$W^* = \lim_{a \to 0} N(a) a^d, \tag{3}$$

где d–размерность иерархического пространства ценоза заключена в диапазоне $1 < d < 2$.

Размерность структуры ценоза является размерностью Хаусдорфа-Безиковича

$$d = \lim_{a \to 0} Ln(N(a))(Ln(a^{-1}))^{-1}, \tag{4}$$

Размерность площади ресурса и размерность структуры иерахического дерева связаны через показатель Херста h. Связь этих размерностей есть коразмерность $h = 2 - d$ [1], используемая для моделирования фрактальных характеристик временных рядов.

Гиперболическая зависимость в ценологии. Если рассматривать слои паранепротиворечивой модели как пространства, то можно ввести нормы ресурсной $\|W_*\|$ и иерархической $\|W^*\|$ части модели. Произведение этих норм, по аналогии с произведением норм вещественного и p-адического числового поля [4], позволяет получить значение некоторой величины ресурса ценоза, выраженного через рациональное число.

$$\|W_*\| \cdot \|W^*\| = c, \qquad c - const \in W. \tag{5}$$

Нетрудно увидеть, что нормы в выражении (5) связаны гиперболической зависимостью [3,4].

Модель числовой асимметрии. Паранепротиворечивая модель ценоза является аналогом модели числовой асимметрии

$$R \leftarrow Q \rightarrow Z_p, \tag{6}$$

где Q, R, Z_p – рациональное, вещественное и целое *p*-адическое число, соответственно; $\leftarrow$ и $\rightarrow$ – знаки отображения [3, 4].

Если рациональное число, определяемое через отношение целых чисел, является «физическим» числом, через которое выражают результаты любых измерений, то вещественные и *p*-адические числа рассматривают как числа на полях расширения поля рациональных чисел.

Целым *p*-адическим числом для заданного простого *p* называют бесконечную последовательность вычетов x_n по модулю p^n, удовлетворяющих условию: $x_n \equiv x_{n+1} \pmod{p^n}$. Другое определение *p*-адического числа дают через алгебраическое построение. Кольцо *p*-адических чисел определяют как предел $\lim Z / p^n Z$ колец $Z / p^n Z$ вычетов по модулю p^n относительно естественных проекций $Z / p^{n+1} Z \rightarrow Z / p^n Z$. Геометрически целое *p*-адическое число представляет собой фрактал-дерево.

На поле рациональных чисел могут быть введены две нормы. Одну норму называют архимедовой, другую – неархимедовой.

Архимедова норма есть отображение поля рациональных чисел на множество неотрицательных вещественных чисел $\| \ \| : Q \rightarrow R_+$, удовлетворяющее трем условиям: 1) $\|x\| = 0$ тогда и только тогда, когда $x = 0$; 2) норма от произведения чисел равна произведению норм этих чисел, т.е. $\|x \cdot y\| = \|x\| \cdot \|y\|$; 3) норма от суммы чисел меньше или равна сумме норм этих чисел, т.е. $\|x + y\| \le \|x\| + \|y\|$. Это условие называют неравенством треугольника.

Примером архимедовой нормы на поле рациональных чисел является абсолютная величина $\|x\| \equiv |x|$.

Норму называют неархимедовой, если условие неравенства треугольника заменяют на условие усиленного треугольника $\|x + y\| \le \max(\|x\|, \|y\|)$.

Неархимедова норма *p*-адического числа имеет вид $| \ |_p : Q \rightarrow R_+$. Её записывают через кратность вхождения m простого числа *p* в разложение ненулевого целого числа a на простые множители, т.е. через степень наибольшего целого неотрицательного числа m, для которого $a \equiv 0 \pmod{p^m}$. Причём $|x|_p = (p^m)^{-1}$, если $x \neq 0$ и $|x|_p = 0$, если x=0 [6]. Архимедову норму, в отличие от неархимедовой нормы, обозначают $|x|_\infty$.

Архимедова норма индуцирует функцию (метрику), позволяющую определить расстояние между двумя точками. Архимедова метрика удовлетворяет трем условиям: 1) $\rho(x,y)) = 0$ тогда и только тогда, когда x=y; 2) $\rho(x,y) = \rho(y,x)$; 3) $\rho(x,y) = \rho(x,z) + \rho(z,y)$. условие неравенства треугольника.

Неархимедову метрику отличают тем, что условие неравенства треугольника заменяют на условие усиленного неравенства треугольника $\rho(x,y) \leq \max(\rho(x,z), \rho(z,y))$.

Это условие означает, что все треугольники на метрическом пространстве являются равнобедренными, причем их основание не превышает стороны треугольника. Метрику с условием неравенства усиленного треугольника называют ультраметрикой, а пространство – ультраметрическим.

Если архимедова метрика приспособлена для установления расстояния между величинами на евклидовом пространстве, то ультраметрика позволяет устанавливать расстояния между ветвящимися иерархическими структурами.

Связь ресурсов ценоза через закон масштабирования [3]. Диаграмма (7), объединяющая два ресурса W, V ценоза, их проекции на поле вещественных W_*, V_* и поле p-адических чисел W^*, V^*, терминальный объект 1 и классификатор подобъектов Ω, позволяет связать ресурсы двумя способами

$$\begin{array}{ccccccc} V_* & \leftarrow & V & \rightarrow & V^* & \rightarrow & 1 \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ W_* & \leftarrow & W & \rightarrow & W^* & \rightarrow & \Omega \end{array} \quad . \tag{7}$$

Первый способ предполагает наличие гиперболического распределения ресурса W и ресурса V. Если ресурс W и ресурс V имеют гиперболическое распределение, то существует такой показатель степени $d=(\ln W)(\ln V)^{-1}$, что

$$W = V^{d}, \tag{8}$$

т.е. имеет место закон масштабирования.

Второй способ [3] ориентирован на теорию категорий. Если выделить в диаграмме элементарный топос – декартово замкнутую категорию, включающую ресурс W и ресурс V, терминальный объект 1 и классификатор подобъектов $\mathbf{\Omega}$, то будет выполнено условие $\hom(v\times c, w) \cong \hom(v, w^{c})$, т.е. в топосе существуют экспоненты.

Тогда, закон масштабирования имеет вид

$$W^{c} = V, \tag{9}$$

где показатель степени $c=d^{-1}$.

Связь экспоненциального и степенного распределения в моделях ценоза. В моделях ценоза широко используют экспоненциальные и степенные распределения. Поэтому возникает вопрос об их связи и интерпретации. Размеры элементов дерева могут быть представлены 2^{-x} экспонентой. Если значение аргумента выразить через его логарифм, то получают степенное распределение $2^{-\ln(x)} = x^{-\ln(2)}$. Степенное распределение ценоза интерпретируют через распределение уровней его ветвящегося дерева, а показатель степени распределения – через скорость изменения (роста) этих уровней [3].

Способ установления границ ценоза. Рассмотрим вопрос о границах ценоза. Будем считать моделью ценоза шары на ультраметрическом пространстве [4]. Запишем выражение для двух шаров радиса r с центром в точке a на ультраметрическом пространстве X.

$$B_r(a) = \{x \in X : \rho(x,a) \le r\},\ B_r^{-}(a) = \{x \in X : \rho(x,a) < r\} \tag{10}$$

Анализ (10) показывает, что шар $B_r(a)$ замкнут, а шар $B_r^-(a)$ открыт, т.е. ни тот, ни другой шар на пространстве X не имеет границы. Существует, только две возможности в отношении этих шаров. Шары либо включаются друг в друга, либо они не пересекаются. Каждая точка шара является его центром. Шар может иметь бесконечное множество радиусов.

Возможна следующая интерпретация (10): при взгляде изнутри (из центра шара) шар открыт, – снаружи (извне) шар замкнут. Уместно вспомнить выражение Б.Паскаля «Центр шара везде, радиус нигде».Поскольку на ультраметрическом пространстве усиленный треугольник равнобедренный и его основание не больше стороны, то шар обладает удивительным свойством: его диаметр не может быть больше радиуса.

Модель ценоза в виде шара показывает, что ценоз не имеет границы. Поэтому границу ценоза определяют конвенционно [2].

Негауссова статистика ценоза [3]. Считается, что эмпирия гиперболических распределений ценозов имеет в качестве основы теорию безгранично делимых устойчивых распределений [2,7].Безграничная делимость безусловно имеет отношение к концепции антифундированных множеств Мириманоффа [4].

Следует также отметить, что обобщение центральной предельной теоремы разрабатывались в направлениях: отказа от условий независимости событий и замене их более слабыми условиями, а также использования в качестве предельной аппроксимации не только нормального(гауссова) закона, но и других (негауссовых) распределений[8].

Степенное распределение составляющих ценоза имеет отношение к одному из видов устойчивых негауссовых распределений. Для оценки егоустойчивости составляют сумму

$$S_n = (X_1 + X_2 + ... + X_n - a_n) \cdot b_n^{-1}, \tag{11}$$

где $X_1, X_2...$ – последовательность одинаково распределенных случайных величин; a_n, b_n – постоянные.

Если выбор постоянных a_n, b_n произведен наилучшим образом, то функция распределения последовательности сумм S_n(11) слабо сходится к некоторой функции распределения *G(x),* т.е.

$$P(S_n < x) \to G(x) \text{ при } n \to \infty . \tag{12}$$

Представим полученное распределение в виде суммы двух составляющих

$$G(x) = C_1 G_1(x) + C_2 G_2(x), \tag{13}$$

где C_1, C_2 коэффициенты, связанные отношением

$$C_1^\alpha + C_2^\alpha = 1, \tag{14}$$

где α – показатель степени, удовлетворяющий неравенству $0 < \alpha \le 2$.

Следует отметить, что при $\alpha = 2$ имеют нормальный закон распределения, при $0 < \alpha < 2$ получают негауссовы законы распределения. При $1 < \alpha < 2$ распределение имеет математическое ожидание, но дисперсия стремится к бесконечности; при $0 < \alpha \le 1$ в распределении отсутствует и математическое ожидание

Если из выражения (13) получают свёртку в виде

$$G(x) = G_1(x \cdot C_1^{-1}) * G_2(x \cdot C_2^{-1}), \tag{15}$$

то получают формальное условие независимости одинаковых случайных распределений.

Установлено, что устойчивые законы являются абсолютно непрерывными и плотность распределения устойчивого распределения $g(x) = G'(x)$ не имеет явного выражения в терминах элементарных функций. Для описания устойчивых негауссовых законов удобно использовать соответствующие им характеристические функции $f(t)$.

Распределение называют безгранично делимым, если при любом целом k существует такая функция распределения $f_k(t)$, что k- ная свертка даёт выражение

$$f(t) = f_k(t) * ... * f_k(t) \ , \tag{16}$$

т.е. корень из *f(t)* характеристической функции любой *k*-ой степени оказывается характеристической функцией того же закона. Например, характеристическая функция $f(t) = \exp(-\alpha|t|)$ распределения Коши после извлечения *k*-ого корня также даёт характеристическую функцию Коши $f(t) = \exp(-\alpha|t|k^{-1})$. То же самое имеет место и в отношении других устойчивых негауссовых законов [7,8].

Теория возможностей в ценологии. При расчете ресурса ценоза через закон масштабирования формируют базу данных (БД) его составляющих. При этом возникает проблема обусловленная неопределенностью и нечеткостью БД. Меру неопределенности БД удобно выразить через монотонность и непрерывность вложения друг в друга её подмножеств. Нечеткость БД выражают через размытость границ содержания её подмножеств. Эту характеристику БД удобно выразить через градацию принадлежности элементов её подмножествам[9].

Для оценки влияния неопределенности и нечеткости БД на методику на основе закона масштабирования и результат расчета ресурса ценоза применим теорию возможностей.

Рассмотрим теорию возможностей на основе литературы [10,11] и с учетом паранепротиворечивой модели ценоза. Теория возможностей базируется на решетчатых (сетевых) представлениях, отображение которых можно усмотреть и в уровнях техноценоза [2]. Основными операциями решетки являются: *join*(объединение верхняя грань) и *meet* (пересечение, нижняя грань). Мера возможности вводится аксиоматически и её аксиомы совпадают с аксиомами ультраметрики *p*-адических чисел паранепротиворечивой модели. Приведем эти аксиомы.

1. Мультипликативная версия, измеряющая размер составляющих на определенном уровне ценоза

$$|\xi|_p^\alpha = p^{-\alpha \cdot n}, \qquad \alpha > 0 \Rightarrow |\xi + \eta|_p^\alpha \le \max\left\{|\xi|_p^\alpha, |\eta|_p^\alpha\right\}, \tag{17}$$

2. Аддитивная версия, определяющая координату уровней ветвления (делимости) ценоза

$$\nu_p(\xi) = ord_p(\xi) = n = \ln|\xi|_p^\alpha \Rightarrow \nu_p(\xi + \eta) \ge \min\left\{\nu_p(\xi), \nu_p(\eta)\right\}, \tag{18}$$

Соотношения (17), (18) связывают теорию возможностей с p-адикой и позволяют заменить в ней традиционное вещественнозначное содержание на p-адическое.

Для подмножества $A \subset Z_2$ функция распределения возможностей имеет вид:

$$\pi(\xi) = |\xi|_p^\alpha, \qquad \xi \in A \subset Z_2, \qquad \alpha > 0, \tag{19}$$

Мера возможности для события бесконечного множества A имеет вид:

$$\Pi(A) = \sup\left\{\pi(\xi) : \xi \in A\right\}, \tag{20}$$

Для любых $A, B \subset Z_2$ выражения возможностей для объединения и пересечения множеств имеют вид

$$\Pi(A \cap B) \le \min\left\{\Pi(A), \Pi(B)\right\} = \Pi(meet\left\{A, B\right\}) \tag{21}$$

$$\Pi(A \cup B) \ge \max\left\{\Pi(A), \Pi(B)\right\} = \Pi(join\left\{A, B\right\})$$

Первое из (21) вычисляют в Z_2, второе – в R.Функция распределения меры необходимости имеет вид

$$N(\xi) = |inv\xi|_\infty \equiv |\xi|_\infty, \tag{22}$$

Связь мер возможности и необходимости устанавливают через инволюцию.

Введенные меры неопределенности и нечеткости позволяют определить элементарную долю ресурса. Её выражают через теорему Островского[4]

$$w = |\xi|_\infty \cdot |\xi|_2^\alpha, \qquad \xi \in Z_2. \tag{23}$$

Ресурс ценоза получают объединением элементарных долей

$$W = \bigcup_{\xi} w(\xi) = \bigcup_{\xi} N(\xi) \cdot \Pi(\xi), \tag{24}$$

Выражение (23) позволяет считать, что функция принадлежности возможности (20) имеет гиперболический вид. Поскольку гиперболический вид функции распределения возможности не зависит от неопределенности и нечеткости БД, а именно этот её вид имеет особое значение для установления закона масштабирования, то следует утверждать, что указанные свойства БД не влияют на методику и результат расчета ресурса ценоза.

Структурная устойчивость ценоза. Одной из важнейших характеристик ценоза является структурная устойчивость. Это свойство связывают с гиперболичностью динамических систем. Ценоз, как динамическую систему, характеризуют состоянием в данный момент времени и законом (оператором), который описывает изменение (эволюцию) начального состояния с течением временем. Фазовые траектории гиперболической системы являются седловыми. Структурная устойчивость или грубость означает, что при малом возмущении параметров в конечной области их значений все траектории остаются седловыми и не изменяют свой характер, т.е. конечная область есть гиперболический аттрактор. Седловые фазовые траектории могут быть точками, периодическим орбитами (циклами) или торами. Седловую точку представляют через пересечение устойчивой и неустойчивой сепаратрисы. Фазовые траектории вблизи седловой точки имеют форму гипербол. Седловой цикл образован пересечением устойчивой и неустойчивой поверхностей, т.е. таких поверхностей, одни траектории на которых приближаются к линии пресечения, а другие – удаляются от нее. Одна седловая точка не является устойчивой. Неустойчивой является и единственная седловая периодическая орбита. Структурная устойчивость возможна лишь в том случае, когда устойчивые и неустойчивые многообразия сосредоточены в некоторой области, т.е. являются аттрактором. Если траектории динамической системы не регулярны и/или существенно зависят от начальных условий, то имеют дело с детерминированным хаосом [12].

Таким образом, ценоз является структурно устойчивым, если он состоит из множества седловых точек. Для концепции числовой асимметрии важно отметить, что каждая седловая точка образована пересечением устойчивого и неустойчивого многообразия. Кроме того, окрестности любой точки такой модели ценоза имеют геометрию произведения канторова множества на интервал [12]. Из определения структурной устойчивости следует, что пространство ценоза должно быть либо гиперболическим, либо представлять иерархическую сеть.

Модель ценоза, как гиперболическую динамическую систему, удобно представить, как группу диффеоморфизмов *Diff W* на гиперболическом пространстве *W* [3].

В основе группы *DiffW* лежит отображение $f : W \to W$ гладкого замкнутого многообразия *W*в себя. Для группового отображения справедливы выражения

$$f^n = \underbrace{f \cdot f \cdot ... \cdot f}_{n}, \quad f^{-n} = \underbrace{f^{-1} \cdot f^{-1} \cdot ... \cdot f^{-1}}_{n}, \quad n \geq 0, f \cdot f^{-1} = 1 \tag{25}$$

Траекторию точки $x \in W$ под действием f^n обозначают $O_f(x)$. Отображения $f, g : W \to W$ топологически сопряжены, если существует такой гомеоморфизм $\eta : W \to W$, что $\eta \circ f = g \circ \eta$. Это означает, что сопрягающее отображение η переводит каждую траекторию $O_f(x)$ в $O_g(\eta(x))$. Траектории такой динамической системы являются плотными.

Пространство W имеет риманову метрику $dist$, которая индуцирована нормой $\|\cdot\|$ касательного многобразия *TW*.

Множество $\Lambda \subset W$ инвариантное относительно отображения $f\Lambda \subset \Lambda$ называют гиперболическим, если для $\forall x \in \Lambda$ касательное пространство T_xW представимо в виде двух непрерывных гладких подпространств $T_xW = E_x^s \oplus E_x^u$ при условии, что

$$\left\|f^n(v)\right\| \le c_1 \cdot \lambda^n \|v\|, v \in E_x^s, n \ge 0,\ \left\|f^n(v)\right\| \ge c_2 \cdot \mu^n \|v\|, v \in E_x^u, n \ge 0\ , \tag{26}$$

где $c_1, c_2 \ge 0$ и $0 < \lambda < 1 < \mu$ – константы. Другими словами, динамическая система будет гиперболической, если гладкое замкнутое многообразия W имеет касательное многобразие TW, каждую точку x которого растягивают в одном направлении E_x^u и сжимают в другом E_x^s [13,14] .

Если для каждого открытого множества V динамической системы, содержащего точку x и для $\forall n \in N$, найдется $m \ge n$ такое, что $V \bigcap f^m V \ne 0$, то точку x называют неблуждающей точкой динамической системы. Открытое множество $U \supset \Lambda$, удовлетворяющее условию $\Lambda = \bigcap\limits_{n>0} f^n U$, называют аттрактором динамической системы [14].

Ценоз, как динамическая система, отвечающий условиям: гиперболичности, плотности траекторий и имеющий аттрактор, является структурно устойчивым.

Геометрическая модель ценоза [3]. Гиперболическое пространство ценоза представляют однополостным или двуполостным гиперболоидом. Выражение для однополостного гиперболоида и его проекций, имеет вид:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \leftarrow \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1 \rightarrow \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1 \tag{27}$$

где $\leftarrow$ и $\rightarrow$ – знаки отображения.

Выражение для двуполостного гиперболоида и его проекций в аналогичной форме имеет вид:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \leftarrow \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = -1 \rightarrow \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = -1 \tag{28}$$

В выражениях (27) и (28) центральная часть модели соответствует поверхности ценоза, левая часть модели, представленная окружностью, соответствует величине ресурса, а правая часть, представленная гиперболой, – уровням ценоза.

Расслоение гиперболического многообразия показывает, что его сечения (карты) не могут накрыть это компактное пространство без разрывов.

Математическое моделирование техноценозов позволило установить, что:

1) для нахождения связи структуры и количества ресурса ценоза следует разработать паранепротиворечивую модель ценоза, включающую ресурсную и структурную составляющие;

2) для установления законов формирования структуры ценоза следует получить произведение норм ресурсной и структурной составляющих модели ценоза;

3) для описания ценоза следует применить модель числовой асимметрии, включающей отношение вещественных и p-адических чисел;

4) для установления связи между экспоненциальным и степенным распределением ценоза следует прологарифмировать степень экспоненты;

5) для установления связи между ресурсами на одной гиперболической структуре ценоза следует применить закон масштабирования;

6) для установления границ ценоза следует применить модель открытого и замкнутого шара в ультраметрическом пространстве;

7) для анализа законов статистики в ценологии необходимо исследовать сходимость сумм одинаково распределенных случайных величин к безгранично делимым устойчивым распределениям;

8)для исследования неопределенности и нечеткости базы данных необходимой для расчета ресурса ценоза следует применить положения теории возможностей с заменой вещественнозначного содержания на p-адическое;

9) для получения качественной оценки структурной устойчивости ценоза следует считать его гиперболической динамической системой;

10) для построения геометрической модели ценоза следует принять в качестве его пространства однополостный или двуполостный гиперболоид.

Представленный подход к моделированию ценозов проверен на практике и позволяет моделировать техноценозы предприятий различного профиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирзаджанзаде, А.Х. Моделирование процессов нефтегазодобычи. Нелинейность, неравновесность, неопределенность/А.М. Мирзаджанзаде, М.М. Хасанов, Р.Н. Бахтизин. – М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 368с.
2. Кудрин, Б. И. Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические *H*-распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта /Б.И. Кудрин// Философские основания технетики. Вып. 19. – М. : Центр системных исследований,2002. – С. 357–412.
3. Хорьков, С. А. Проблема расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, модели и методики для ее решения : монография/ С.А.Хорьков. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2019. – 124 с.
4. Маврикиди, Ф.И. Числовая асимметрия в прикладной математике. Фракталы, *p*-адические числа, апории Зенона, сложные системы / Ф.И. Маврикиди. – М.: Дельфис, 2015. – 416с.
5. Кириллов, А. А. Повесть о двух фракталах. 2-е изд., испр./А. А. Кириллов.– М.: МЦНМО, 2010. – 180 с.
6. Коблиц, Н. *P*-адические числа, *p*-адический анализ и дзета-функции / Н. Коблиц: Пер. с англ. В.В. Шокурова / Под ред. и с предисловием Ю.И. Манина. – М.: Мир. – 1981. – 192с.
7. Гнеденко, Б. В. Предельные распределения для сумм независимых случайных величин / Б. В. Гнеденко, А. Н. Колмогоров. – М.- Л.: Гостехтеориздат, 1949. – 264 с.
8. Золотарев, В. М. Устойчивые законы и их применение/В.М. Золотарев. – М. : Знание, 1984. – 64 с.
9. Хорьков, С.А Теория возможностей при расчете электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия / С.А. Хорьков // Федоровские чтения-2019: XLIX Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы (Москва 19 – 22 ноября 2019), под общ.ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. – М.: Издательский дом МЭИ, 2018. – с.90-94.
10. Изотов, А.Д.,Теория возможностей в материаловедении. //Прикладная физика и математика./ А.Д. Изотов ,Ф.И.Маврикиди. – 2018. № 1. – С. 51–58.
11. Дюбуа, Д. Теория возможностей. Приложения к представления знаний в информатике. Пер с фр./ Д.Дюбуа, А. Прад.– М.: Радио и связь, 1990. – 288с.

12. Кузнецов, С. П. Динамический хаос и гиперболические аттракторы: от математики к физике / С. П. Кузнецов.– М.- Ижевск :Институт компьютерных исследований, 2013. – 488 с.
13. Пилюгин, С. Ю. Пространства динамических систем / С. Ю. Пилюгин. – М.; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика; Ин-т компьютерных иссл., 2008. – 272 с.
14. Аносов, Д. В. Динамические системы с гиперболическим поведением / Д. В. Аносов, С. Х. Арансон, В.З.Гринес, Р.В.Плыкин и др. Итоги науки и техн. Сер. Соврем.пробл.мат.Фундам. направления.–1991, том 66, с.5–242.
15. Блюменфельд Л.А. Решаемые и нерешаемые проблемы биологической физики. Изд. стереотип. – М.: Едиториал УРСС, 2014. – С. 82-95.

25. ЦИФРОВОЕ ПРОСТРАНСТВО НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ*

Аннотация. Продемонстрировано математическое содержание цифровизации как интегративного пространства нефтегазовой отрасли от пласта до управления и менеджмента. Показано, что фактором, параллельным цифровизации, является развитая в конце прошлого века математика фракталов, которая имеет два источника – физику и теоретическую информатику. Основной идеей модели является двойственность фракталов, способных порождать в зависимости от проекции нульмерные, тонкие множества, которым соответствуют формальные языки и множества полной меры, соответствующие материальным объектам. В числовом виде этой двойственности соответствует числовая асимметрия, произведение двух основных числовых систем математики – вещественных и *p*-адических чисел. Схема цифрового пространства нефтегазового предприятия включает несколько уровней. На нижнем уровне единой иерархии располагаются продуктивные пласты нефтегазовой отрасли. Уровнем выше – материально-технические средства, оборудование месторождений. Здесь начинает проявляться сеть организации и технического управления. Следующий уровень – отрасль, организующая структуры предыдущего уровня. Отрасль, входя в совокупность разделов национальной экономики, организует отраслевые организационные решения во взаимодействии со всей экономикой. Математическая модель, основанная на числовой асимметрии, открывает содержательную перспективу формирования единого пространства нефтегазового производства.

Ключевые слова: цифровое пространство, математическое моделирование, фрактал, числовая асимметрия, *p*-адические числа, сложная система, нефтегазовая отрасль.

Словосочетания «цифровое телевидение», «цифровая экономика», «цифровая трансформация энергетики» и им подобные появились в XXI веке. Своим происхождением они обязаны инновациям «хай-тек» (HT) – высоких технологий и «ай-ти» (IT) – информационных технологий. Экономический эффект только от цифрового телевидения, позволившего уплотнить эфир и на

---

* Первоначальный вариант опубликован: Маврикиди, Ф. И. Цифровое пространство нефтегазовой отрасли [Электронный ресурс] / Ф. И. Маврикиди, С. А. Хорьков // Управление техносферой. – 2022. – Т. 5, вып. 3. – С. 326-347.

одной частоте передавать несколько каналов, без строительства высотных башен и прокладывания кабелей, составил сотни миллионов рублей. Цифровая экономика связана с более эффективным, по сравнению с аналоговым, представлением, обработкой, передачей, хранением данных, а также с применением сквозных технологий, к которым относят: Big Data – большие данные, IoT – интернет вещей, облачные решения, искусственный интеллект, беспилотные летательные аппараты, VR/AR – виртуальную и дополненную реальность, блокчейн и смарт-контракты и др. Цифровая трансформация энергетики за счет представления данных в цифровом виде и применения «хай-тек» и «ай-ти» технологий позволяет строить новые бизнес-процессы конструирования, производства, строительства, монтажа, эксплуатации, ремонта, обслуживания, утилизации объектов и обеспечивать на их основе рост производительности труда и значительный экономический эффект.

Необходимость «цифровых» подходов к коммуникативной, управленческой и производственной сфере также связана с изменением, в последнее время, восприятия реальности. Объекты, особенно крупные, очень часто стали проявлять новые, неизвестные ранее, и не заложенные в проекте свойства или, при определённых условиях, вести себя непредсказуемо. При этом старые методы управления стали терять свою актуальность. Понимание того, что ситуация кардинально изменилась, было отражено в концепциях VUCA и BANI. Аббревиатуру VUCA расшифровывают как: V – Volatility: непостоянство; U – Uncertainty: неопределенность; C – Complexity: сложность; A – Ambiguity: неоднозначность. Аббревиатура BANI включает: B – Brittle: хрупкость; A – Anxious: беспокойство; N – Nonlinear: нелинейность; I – Incomprehensible: непостижимость. Первой появилась концепция VUCA. Однако за последние годы среда настолько изменилась, что потребовалась новая терминология. Концепция BANI появилась, как результат попытки понять, какие формы принимает новая эпоха хаоса. Формулирование концепций и фиксирование, стоящих за ними проблем, ориентирует на цифровые методы их решения.

Опыт «цифровой трансформации энергетики», направленной, в первую очередь, на оптимизацию использования ресурсов и поддержание активов в рабочем и безопасном состоянии, показывает, что преобразование в отрасли должны быть начаты с построения «онтологической модели» и перехода на единую терминологию и единые стандарты. «Онтологию» традиционно относят к области философии. Там это понятие означает предельно универсальное представление о мире, координирующее его составляющие (блоки). Причем онтология есть учение о бытии, абстрагирующееся от понятия пространства и времени, которые по Канту, являются априорными условиями восприятия мира. Применительно к энергетической отрасли онтологическая модель означает, что все информационные, экспертные отраслевые системы будут одинаково понимать и описывать энергосистему, вплоть до объектов и деталей оборудования. Цифровизация, в указанном контексте, будет представлять основное средство (инструмент) управления энергетическими объектами и применение сквозных технологий [1].

Нефтегазовое производство обладает рядом особенностей, которые диктуют необходимость совершенствования математических методов его моделирования. К определяющим – относят нефизические факторы: богатую междисциплинарную картину, невозможность экспериментирования с проектом разработки, уникальность каждого объекта, большую материальную, экологическую, экономическую, социальную и политическую ответственность. Эта обстановка требует от математической модели высшей степени адекватности, с тем, чтобы модель проекта, «в один проход», без корректировки экспериментом, правильно формировала показатели разработки, давала надежную базу применяемым технологиям. Аппарат моделирования, доставшийся в наследие от кибернетики, не отвечает этим требованиям [2]. Такие, принятые в физико-математической практике, приемы как осреднение и регуляризация, здесь не проходят, так как смазывают уникальность проблемы, переводя объект из реального в один из возможных, что особенно важно для сложнопостроенных пластов. Этот общий для всех наук изъян – неадекватность математики при построении сложных моделей, не раз отмечался в литературе (см. обзор в [3]).

Поэтому с практической точки зрения цифровизацию имеет смысл рассматривать как «новую математику» сложных систем, как математику нематематических явлений. Анализ литературы показывает практически полное отсутствие математического содержания цифровизации и слабую её связь с фактами общей теории систем. Литература, очень часто, содержит декларации о новизне и выгоде цифровой трансформации экономики и производства [4,5], математическое содержание которой представлено элементами анализа, алгебры и статистики [6-8], и, в целом, представляет собой комментаторские тексты и, зачастую, являющиеся простой переформулировкой терминов и положений АСУ 60-70-80-х годов на новой элементной базе [9].

Настоящая работа имеет своей целью восполнить этот пробел и продемонстрировать математическое содержание цифровизации как интегративного пространства нефтегазовой отрасли от пласта до управления и менеджмента.

Новым фактором, параллельным цифровизации, является развитая в конце прошлого века математика фракталов, которая имеет два источника – физику и теоретическую информатику. Эти два раздела науки составляют теоретическую основу киберфизических систем – специфического объекта цифровизации. Напрашивается сопоставление цифровых идей с фактами теоретической информатики, универсальностью компьютеров и предметной универсальностью фракталов. Такой взгляд позволит сформировать их междисциплинарный синтез в единое математическое пространство. Все необходимые сведения содержатся в монографиях авторов [10-12]. Настоящая статья представляет цифровую, компьютерную версию этих результатов.

К настоящему времени, в связи с развитием математической теории фракталов стало возможным формализовать основные положения теории систем и наметить решение задач, доставшихся от кибернетики [13]. Теория фракталов вводит в моделирование и придает эмпирическое содержание базовым математическим понятиям – множеству, числу, логике, разрешимости и вычислимости. Объединение результатов различных разделов математики на основе понятия фрактал приводит к очевидным соответствиям с фактами теории систем, которые легко понимаются в терминах производственных систем. Тем самым разнообразные нефизические и нематериальные явления обеспечиваются математической техникой.

Основной идеей модели является двойственность фракталов, способных порождать в зависимости от проекции нульмерные, тонкие множества, которым соответствуют формальные языки и множества полной меры, соответствующие материальным объектам [14].

В числовом виде этой двойственности соответствует числовая асимметрия, произведение двух основных числовых систем математики – вещественных R и 2-адических чисел Z_2 – $U = R \times Z_2$. Эти два пространства представляют, соответственно, физику и теоретическую информатику, поскольку диадические числа являются основным способом представления чисел в компьютере. Числовая асимметрия представлена в компьютерной арифметике как вычисления и текстовые редакторы. В теории систем – это лингво-математический подход к моделированию.

$$R \leftarrow U = R \times Z_2 \rightarrow Z_2 \qquad (1)$$

Таким образом, получается пространство киберфизических систем. Оно имеет «оси координат» – обычные экстенсивные физические R_3 и интесиональную координату иерархии Z_2, которая общa материальным и идеальным объектам. Первая «ось координат» есть материальная часть системы, вторая – , соответствует внутреннему ее состоянию, как множества вложенных подсистем, формирующих многомасштабную динамику. 2-адические числа используются как математический томограф, они представляют внутреннее пространство материалов и систем [15]. Внешний взгляд воспринимает объект в целом, внутренний в многообразии его строения, деталей.

$$\text{объект, внешнее} \leftarrow U = R \times Z_2 \rightarrow \text{внутреннее, система} \qquad (2)$$

Можно показать, что из (2) следует представление числа в виде $u = x \cdot \xi,\ x \in R, \xi \in Z_2$. Такое сложное число естественно трактуется как исток неопределенности, изменчивости и двусмысленности VUCA – узловой проблемы цифровой экономики [16]. Этой теоретико-числовой схеме в реальности отвечают следующие обстоятельства.

Компьютер как ядро и пространство цифровизации, является не просто вспомогательным инструментом, а представляет собой полноценный теоретический инструмент со своей числовой системой, фазовым пространством состояний, функциями, операторами [17]. Современные информационные технологии позволяют рассматривать компьютер как цифровой двойник Природы (с биологией дело обстоит значительно сложнее). Компьютер, как теория, делает возможными числовое представление сетей, образов и других гетерогенных объектов. То есть того, что невозможно смоделировать формальной механикой – при помощи «карандаша и бумаги», строкой символов математического языка. Это является основой адекватности математической модели реальным явлениям.

В числовых терминах вещественные числа получают из 2-адических инвертированием порядка записи. Большим вещественным числам соответствуют малые 2-адические и наоборот.

$$R = inv\, Z_2 \tag{3}$$

Соотношение (3) означает, что всякому объекту соответствует его цифровой компьютерный прообраз, двойник. Поскольку 2-адические числа есть обратная сторона материальной реальности, то внешняя среда системы, объекта с необходимостью включается в пространство двойников, существование которых есть прямое следствие зеркальности, т.е. неотделимости друг от друга, основных числовых систем математики. Поэтому универсальность компьютеров и требования адекватности требуют полной предметной загрузки – как моделью выделенного объекта, так и моделью его окружения. «Природный компьютер» не знает абстракции – изоляции объекта и пренебрежения побочными эффектами.

Во-вторых, такие сложные природно-технические системы как нефтегазовое производство, всегда проектируют как детерминированные объекты, но в реальности они проявляют свойства, не учитываемые проектом – непредсказуемые, не детектируемые персоналом и управлением [18]. В нефтегазовом производстве внутренним источником неопределённости является продуктивный пласт. Междисциплинарность производства математически значит необходимость неединственности его формального описания [10].

Наконец, развитие нефтегазовой науки подготовило фундамент цифровой модели производства – 3D моделирование продуктивного пласта [2]. Оно дает возможность включение в развитую теорию методов моделирования и анализа образов (image analysis – англ.). Оснащенная «компьютерными» 2-адическими числами 3D модель переводит объем пласта из визуального образа в числовое поле, на котором можно строить аналитику и вычисления.

Измерения. Для математических моделей критическим является связь формальной техники с методами измерения, без которой нет осмысленных результатов. В этом плане числовая асимметрия киберфизических систем (3) допускает два способа измерений: аддитивный, для вещественных чисел – $|x|_\infty$, и мультипликативные для 2-адических. – $|\xi|_2$. Связь между ними обратно пропорциональная $|x|_\infty = c \cdot |\xi|_2^{-1}$. Она значительно расширяет возможности моделирования и имеет особое значение для построения модели управления. Построение теории измерений для нефтегазового производства является насущной необходимостью, решение которой позволит согласовать формальные методы с практикой, различные частные задачи и уровни управления. Насколько известно, для подобных природно-технических систем эта задача даже не поставлена.

Пласт. Показано, что тела, включающие множество пор, пустот, имеют гиперболическую геометрию. Гетерогенность пластовой структуры в точности математически означает гиперболичность геометрии порового пространства, Гиперболичность проявляется как сосуществование двух базовых процессов течения жидкостей – линейного переноса и дивергентной перколяции. Как следствие, основное уравнение течения, полученное из закона сохранения массы – *CE,* оказывается состоящим из трех частей – уравнений переноса и движения переменного объема в двух подпространствах числовой асимметрии (1):

$$CE(\rho, x, t) + CE(\varphi, \xi, \tau) + CE(V(x, \varphi, \xi, t, \tau)) = 0 \quad (4)$$

Обратная сопряженность чисел по типу «*большое = малое*$^{-1}$» имеет следствием то, что в чистом виде два базовых процесса чередуются. В общем виде они сосуществуют как детерминированное и случайное [19]. Представление пространства течения компьютерными 3D-моделями замыкает теоретическую основу моделирования уникальности пластовых процессов.

Техника. Следующий по иерархической координате уровень – уровень техники. В контексте цифровизации это сопряжение сенсоров физических величин с компьютером в реальном времени (Системы Реального Времени), интернет вещей (IoT – internet of things). Здесь работает интерпретация 2-адических чисел, как поля внутреннего пространства материала. Это позволяет естественным образом оцифровывать физические параметры технического объекта и обеспечивать интерфейс с компьютером. Таким образом, числовая асимметрия естественно оказывается пространством киберфизических систем.

Если поле единое для всех вещей мобильной связи IoT можно представить полем 2- адических чисел с необходимыми электромагнитными свойствами, то в формировании двойников встает вопрос о едином формате представления данных и моделей. Двойники строятся из сбора данных, принадлежащих различным предметам, собственникам, которые хранят их в различных форматах. Возникают несоответствия в их объединении, что может привести к неверным решениям, сбою техники [20]. Кроме того, эта проблема встает на пути создания общей модели системы в виде графа связей, на основе которого можно было бы моделировать движение и развитие производства известными вычислительными техниками. Эта проблема решается в рамках одного собственника, но в полный рост она встает в масштабах отрасли и страны. Её решение, поэтому, в своей основной части выходит за рамки цифровизации. В узко-техническом смысле она решается методами теоретической информатики, с привлечением аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей.

Техника нефтегазового производства, погружные насосы, например, работает в сложных, часто экстремальных условиях. Поэтому приходится применять автоматизированные системы предупреждения аварийных ситуаций разного назначения. Обычная 2-адическая компьютерная система не защищена от сбоев, ошибок в работе технических устройств и не способна их распознавать. Двоичная, точнее 2-адическая система с основанием равным числу золотого сечения $\tau = 1.618\ldots$. – система Бергмана лежит в основе фибоначчиевых компьютеров. Компьютеры, построенные на основе этой системы обладают избыточностью, что позволяет контролировать числовые преобразования программным способом «вживую» [21]. Число золотого сечения естественно появляется в модели киберфизических систем как синтез аддитивных и мультипликативных методов измерений.

Нефтегазовую отрасль невозможно представить без систем электроснабжения. Они связывают источники и приемники электрической энергии. Источники электрической энергии могут быть централизованными или автономными. К приемникам относят системы освещения, нагрева и электропривода (двигатель, преобразователь, передаточное устройство и аппаратура управления) буровых установок, насосов, компрессоров, вентиляторов. Системы электроснабжения нефтегазовых предприятий включают линии электропередач, реклоузеры, компенсаторы реактивной мощности и трансформаторные подстанции. В последнее время появились цифровые подстанции. Термин «цифровая подстанция» используют по отношению к микропроцессорным терминалам подстанций 6(10)/35/110 кВ, а также к цифровому обмену между этими устройствами. Технология цифровой подстанции позволяет эффективно оперировать большим количеством данных и дистанционно управлять её оборудованием. Структура цифровой подстанции имеет три уровня: процесса (нижний), присоединения (средний) и подстанции (верхний). Нижний уровень включает средства получения первичных данных, средний – объединяет микропроцессорные средства релейной защиты и управления выключателями, высший – включает сервера АСУ ТП и учета электрической энергии. Цифровая подстанция имеет шину процесса, объединяющую уровень процесса и уровень присоединения, а также шину подстанции, объединяющую уровень присоединения и уровень подстанции. Для обеспечения коммуникации между устройствами подстанции применяют протоколы МЭК 61850: MMS, GOOSE, SV. Цифровая подстанция может иметь один из трех типов архитектуры. Архитектура типа I обеспечивает обмен данными по протоколу MMS, архитектура II – по протоколам MMS и GOOSE, архитектура III по протоколам MMS, GOOSE и SV.

Управление, менеджмент. При движении по координате иерархии вверх от физики пласта до центров управления происходит нарастание плотности, концентрация организационных решений, связей и убывание, рассеивание материальности системы. Известно, что общепринятой теории организации, которая позволяла бы делать обоснованные выводы и строить технологию управления и менеджмента на сегодняшний день не существует. Поэтому эта область заполнена эмпирическими соотношениями [22], либо представляет собой набор положений в виде задач типа целеполагания: «надо сделать так, чтобы …», «оптимизировать для того, чтобы…», или «синхронизировать с целью …» [23]. В настоящее время эта сфера представляет собой конгломерат несвязанных разделов науки – психологии, социологии, принятия решений, теории исследования операций. Как следствие, в управлении наблюдается сильное присутствие субъективного, волюнтаристского начала, полное отсутствие общеобязательных критериев действий управленцев [24]. Это составляет резкий контраст с требованиями соблюдения технологий исполнителями на уровне материальной части производственных систем.

В теорию управления с необходимостью включается сознание и психология человека, что делает её очень сложной и математически непроработанной. В настоящей работе будет намечена лишь перспектива её построения. Гипотеза основана на работах авторов и разработках А.В.Елина [25]. Отличительной чертой предлагаемого подхода является синтез сознания человека с процессами проектирования, планирования и производства, которому соответствует модель числовой асимметрии.

Несколько подробнее. Известно, что психика человека организована как взаимодействие первой и второй сигнальных систем [26]. Первая система отвечает за ориентацию и взаимодействие в физическом мире, вторая – в мире идеальном, символическом. Материалом первой служат восприятия физических процессов, второй – слово, формула, текст. Очевидно, что первая сигнальная система моделируется вещественными числами, вторая – 2-адическими. На этом пути обнаруживается целый ряд совпадений психических процессов со свойствами 2-адических чисел. Подробное изложение заслуживает специальной работы

Первая и вторая сигнальные системы связаны. Мышление человека организовано по схеме «слово + образ». Здесь образ – план содержания слова. Причем образ имеет двойную референцию – как видимый (зримый), и как словесный, формальный (умозримый). Соответственно, управление также двойственно – как управление техникой (хорошо известно) и управление организацией (графы, конкурирующие процессы, управление персоналом, менеджмент в широком смысле). Адекватность такого подхода к управлению следует из результатов теории моделей. Образ работает как субъективизированный объект, связывая две сигнальные системы. Здесь вновь проявляется двойственность фрактальных образов [14].

Такая числовая структура проектно-материального пространства управления позволяет формулировать требования компетентности управленцев всех уровней, что ведет к возможности выработки критериев технологичности, грамотности управления. Становясь, таким образом, экспертной системой сопровождения и контроля решений, модель позволит исключить волюнтаризм и субъективизм в управлении [24,25].

Парадокс моделирования иерархических систем. Этот парадокс заключается в том, что моделирование управления иерархических систем, предполагает введение нового уровня управления, отличного от самой системы [27]. В предлагаемой модели с введением человеческого мышления в виде первой и второй сигнальной систем, изоморфной числовой асимметрии, этот парадокс исчезает и открывает возможность инверсии управляющих воздействий. Это явление заключается в том, что в зависимости от ситуации ведущую роль могут исполнять различные подсистемы, выполняющие различные функции. Пространство при этом, как бы инвертируется и роль верхнего уровня руководства переходит к лидирующей функции [28]. Система при этом рассматривается как единый мыслящий организм. p-Адическая структура пространства при инверсии остается прежней.

Перспектива. Схема цифрового пространства нефтегазового предприятия выглядит следующим образом. На нижнем уровне единой иерархии располагаются продуктивные пласты нефтегазовой отрасли, разнесенные согласно геолого-географии. Уровнем выше – материально-технические средства, оборудование месторождений. Здесь начинает проявляться сеть организации и технического управления. Следующий уровень – отрасль, вторая сигнальная система, организующая организации предыдущего уровня. Отрасль, входя в совокупность разделов национальной экономики, организует отраслевые организационные решения во взаимодействии со всей экономикой.

Приведем схему вывода уравнений движения системы [29]. Любые уравнения являются формой баланса. С установления баланса для заданной физической величины начинается вывод всех уравнений математической физики. В нашем случае системы изменяются под действием внешних и внутренних факторов. Из всех уравнений баланса наиболее общим представляется закон сохранения массы. Известно, что этот закон справедлив для всех физических величин – массы, заряда, тепла, момента и т.д. Это, в свою очередь, значит, что он не зависит от размерностей физических величин и является чисто геометрическим фактом – преобразования массы из конвергентного состояния (меры Лебега) в дивергентное (меру Хаара). В этом смысле закон сохранения массы *CE* имеет междисциплинарный характер и его применение напрашивается само собой. Имеем диаграмму

$$CE(\rho,V) \xleftarrow{\wedge} m = \int_V \rho \cdot \pi \cdot dV \xrightarrow{\vee} CE(\pi,V^*) \tag{5}$$

Здесь π - мера возможности, ρ - плотность, V и V^* - представления объемов в двух подпространствах числовой асимметрии. Понятие объема следует рассмотреть отдельно. Конструкция интеграла (5) предполагает предварительное, до акта суммирования, существование его слагаемых. Большие природно-технические, социально-эколого-экономические системы, как правило, не имеют фиксированного объёма в обычном физическом смысле при огромном числе подсистем и составных частей. Естественной характеристикой их объема как размера является структура, с которой, связываются все характеристики и свойства системы. Все числовые характеристики системы рассматриваются как распределенные по структуре, т.е. по вершинам графа, ее представляющего. Совокупным числовым представлением объема в этом случае будут матрицы смежности графа A_R, A_Z. В этом случае аналогом числовой асимметрии будет матричная асимметрия

$$A_R \leftarrow A_U \rightarrow A_{Z_2} \quad A_U = A_x \times A_\xi$$

Здесь A_R – пространство стандартных матриц $\{A_x\}$ A_Z – пространство кронекеровских матриц $\{A_\xi,\}$ действующих в $\boldsymbol{Z_2}$. Поскольку матрицы являются числовыми характеристиками распределенных объектов, то синтез матричного исчисления с теоретико-графовыми матрицами позволит получить основные уравнения. Матричным аналогом (5) с заменой сконцентрированной массы на распределенную, матричную $m \mapsto M_S^J$ будет

$$M_S^J = \rho^j \cdot \pi^j \cdot A_S \qquad (6)$$

Здесь: $J = 1,2,\ldots,N$ - число различных факторов, действующих на *S*; A_S – матрица смежности графа-структуры *S*, $A \propto V$ - аналог объема, $\rho^j \in R$ – матрица плотности *j*-того физического фактора, действующего на систему и распределённого по вершинами структуры. $\pi^j \in Z_2$ – матрица мер возможностей, приписанных вершинам графа-структуры, отражает иерархическую природу *S.* Ими могут быть какие-либо интегральные финансовые показатели, принятые в данном виде деятельности.

Дифференцированием (6) по двум подпространствам, получим матричный аналог уравнения сохранения массы, вычисленный в предположении «подвижного объёма» [30]. Однако, в отличие от механики сплошных сред изменение объёма предполагается и по координате делимости, в пространстве Z_2. Этим отражается диссипация структуры системы.

$$\frac{d\,M^j}{d\,T} = \left[\, CE_E(\rho^j) \circ \pi^j + \rho^j \circ CE_U(\pi^j) \,\right] \circ A_S + \rho^j \circ \pi^j \circ CE_{EU}(A_S) = 0 \qquad (7)$$

$$J = 1,2,\ldots,M$$

Здесь *CE* есть оператор левой части уравнения неразрывности, переводящий плотности физических величин в скорости их диссипации – матрицы $v_\rho = \{v_1,\ldots,v_N\}_\rho,\ v_\pi = \{v_1,\ldots,v_N\}_\pi,\ v_A = \{v_1,\ldots,v_N\}_{A_S}$ (см. (5)); символы *E,U,EU* обозначают пространство действия *CE*; «$\circ$» означает адамарово, поэлементное произведение матриц, аналогично кронекеровскому. Это «антиномичная» система уравнений связывает различные левые части с одной и той же правой – движением/изменением матрицы смежности структуры системы. Для A_S $\rho_i = 1,\ i = 1,2,\ldots,N$, где N – число вершин графа, равное порядку A_S.

Уравнение сохранения массы в пространстве числовой асимметрии допускает нефизические интерпретации, которые имеют смысл порождения пар противоположностей, аналогичные физической «энергия – энтропия» и системной «материя – символ». Эта линия рассуждений требует отдельной работы и здесь мы ограничимся лишь указанием этой перспективы. Она ведет к формализации социально-экономического пространства с возможностью построения технологии управления.

Заключение. Как представляется математическая модель, основанная на числовой асимметрии, открывает содержательную перспективу формирования единого пространства нефтегазового производства. Это позволит выработать единый язык деловой прозы, который позволит сформировать нефтегазовую науку как самостоятельную область знания и установить тесные взаимосвязи её со смежными разделами естественных наук. Классические результаты при этом сохраняются и расширяются за счет вводимой двойственности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грабчак, Е.П. Цифровая трансформация электроэнергетики : монография / Е.П. Грабчак. – М.: РУСАЙНС, 2018. – 340 с.
2. Тер-Саркисов, Р. М., Геологическое и гидротермодинамическое моделирование месторождений нефти и газа / Р.М. Тер-Саркисов, В.М. Максимов, К.С. Басниев [и др.]; под ред. проф. В.М. Максимова и проф. Р.М. Тер-Саркисова. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2012. – 447 с.
3. Скотт, Дж. Благими намерениями государства. Почему и как проваливались проекты улучшения условий человеческой жизни: Пер. с англ. Э.Н. Гусинского, Ю.И. Турчаниновой. – М.: Университетская книга, 2005. – 576 с.
4. Шваб К. Четвертая промышленная революция / К. Шваб – «Эксмо», 2016 – (Top Business Awards). – 138 с.
5. Основы цифровой экономики [Электронный ресурс] : учебное пособие / ред.: М.И. Столбов, ред.: Е.А. Бренделева, Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации. – М. : Научная библиотека, 2018 . – 238 с.
6. Lee E.A. Introduction to Embedded Systems. A Cyber-Physical Systems Approach. MIT Pr., 2017
7. Platzen A. Logical Foundation of Cyber-Physical Systems. Springer. – 662p.
8. Kopetz H. Simplicity is Complex. Foundation of Cyber-Physical Systems. Springer

9. Глушков, В.М. Основы безбумажной информатики. / В.М.Глушков, изд. 2-е испр. – М.: Наука. Гл.ред. физ-матлит., 1987. – 552с.
10. Хорьков, С.А. Проблема расчета электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия, модели и методики ее решения. / С.А.Хорьков. – Ижевск, ИжГТУ, 2019. – 124с.
11. Маврикиди, Ф.И. Числовая асимметрия в прикладной математике: фракталы, *p*-адические числа, апории Зенона, сложные системы/Ф.И. Маврикиди. – М., Дельфис, 2015. – 416с.
12. Хорьков, С.А. Ценозы, системы и их модели: монография/ С.А.Хорьков, Ф.И. Маврикиди. – Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2021. – 92 с.
13. Системный анализ и принятие решений. Словарь-справочник. Учеб. Пособие для ВУЗов/ Под ред. В.Н.Волкова, В.Н. Козлов. – М.: Высш. шк. 2004. – 616с.
14. K. Falconer Fractal Geometry of Nature. Mathematical Foundations and Application. Wiley, 2003, P.96, Fig. 6.3
15. Изотов, А.Д. Числовая асимметрия внутреннего пространства некристаллических материалов/ А.Д.Изотов, Ф.И. Маврикиди // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 19, № 1, 2017. – С.5-24].
16. Patniak S. New Paradigm of Industry 4.0. Springer 2020
17. Изотов, А.Д. Компьютер и числовая асимметрия в инженерных науках/ А.Д.Изотов, Ф.И. Маврикиди // Известия Академии инженерных наук им. А.М.Прохорова, 2013, №2. – С.32-42.
18. Якимов, А.Е. Промышленная энергетика: синергетический аспект / А.Е. Якимов. – М., 2001. – 51 с.
19. Изотов, А.Д. Геометрия нефтегазоносных пластов./ А.Д. Изотов, Ф.И. Маврикиди, С.А. Хорьков// В сб: Современные технологии извлечения нефти и газа.. III Международная научно-практическая конференция имени В. И. Кудинова. Ижевск, 2020. – С. 61-68
20. Fei Tao, Qinlin Qi Make More Digital Twins//Nature, vol.513, 2019, P. 490-491
21. Стахов, А.П. Коды золотой пропорции. / А.П. Стахов. – М.: Радио и связь, 1984. –152с.
22. Hopp, W.J., Spearman M. Factory Physics. Waveland Pr. 2011
23. Андреев, А.Ф. Основы менеджмента (нефтяная и газовая промышленность): Учебник. / А.Ф. Андреев, С.Г. Лопатина, М.В. Маккавеев, Н.Н.

Победоносцева. – М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2007. – 264 с.
24. Сулакшин, С.С. Системная методология проектирования государственно-управленческих решений. Труды Центра 2. – М.: 2006. – 41с.
25. Елин А.В. Модель социально-экономического пространства. 2021 (рукопись)
26. Веккер, Л.М. Психика и реальность: единая теория психических процессов [Текст] / Л. М. Веккер; Под общ. ред. А. В. Либина. – М.: Смысл, 1998. – 679 с.
27. Pattee, H. The Challenge of Complex Systems. N.Y., 1973, PP. 130-156
28. Севостьянов, Д.А. Инверсивное тело/Д.А. Севостьянов. – Новосибирск: РИФ+, 2009. – 185 с.
29. Изотов, А.Д. Математический базис инновационных технологий нефтегазовой промышленности/ А.Д. Изотов, Ф.И. Маврикиди, С.А. Хорьков // Управление техносферой: электрон. журнал. – 2019. –Т.2. Вып. 4. URL: f-ing.udsu.ru/technosphere
30. Эглит, М.Е. Лекции по основам механики сплошных сред. / М.Е. Эглит. – М.: МГУ, 2008. – 139с.

26. ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ УНИКАЛЬНОСТИ И ЦЕЛОСТНОСТИ НЕФТЕГАЗОНОСНОГО ПЛАСТА*

Аннотация. Статья посвящена развитию математической модели нефтегазового пласта в направлении учета его макрогеометрии и мультифизичности. Макрогеометрия пластовых систем стала доступна с развитием 3D моделей, которые предоставили возможность применения математических методов фрактальной геометрии для описания глобального распределения геолого-физических локальных свойств и введения общей геометрии пласта в качестве самостоятельного параметра. Математическое содержание предлагаемого подхода строится на числовой асимметрии, которая является формальным аналогом фрактальной геометрии материи. Такой подход позволяет объединить теорию линейного переноса с теорией перколяции фильтрационных процессов. Кроме того, наследуя универсальность фракталов в естествознании, метод может быть продолжен на процессы поверхностных физико-химических и нано явлений. В целом в потенции предлагаемого подхода содержится описание продуктивного пласта как целостного, междисциплинароного объекта нефтегазового производства. Целостность отображается в методе системными числовыми характеристиками – голограммой и мультифрактальностью свойств, которые синтезируют научные языки описания. Описана вычислительная асимметрия – как численный метод воплощения предлагаемого метода. Она заключается во взаимодействии гладких и дискретных методов численного анализа. Это в свою очередь впервые позволяет развить моделирование пластов с учетом их уникальности, что делает математическое описание надежным основание для разработки технологий нефтегазоизвлечения.

Ключевые слова: фракталы, числовая асимметрия, нефтегазоносный пласт, фильтрация, перколяция, макрогеометрия, междисциплинарность, математическое моделирование, теория систем.

Введение. Моделирование течения жидкостей в пористых пластах является определяющей темой нефтяной науки. Несмотря на значительные успехи в физико-математическом понимании этого явления, его практическая значи-

* Первоначальный вариант опубликован: Маврикиди, Ф. И. Подход к моделированию уникальности и целостности нефтегазоносного пласта [Электронный ресурс] / Ф. И. Маврикиди, С. А. Хорьков // Управление техносферой. – 2024. – Т. 7, вып.4.

мость остается невысокой. В последние годы наметился значительный прогресс в познании пластовых систем введением в научный арсенал 3D моделирования, которое позволило перенести пласт как объект моделирования из невидимого «подземного» пространства в доступное «лабораторное». Вместо привычной физической гетерогенной среды, которая описывается различными осредняющими и/или вероятностными техниками, наука получила в распоряжение образ, т.е. макрогеометрию, пласта во всем многообразии его неоднородностей. Возникла новая перспектива построения технологически адекватной модели фильтрации для нужд проектирования разработки [1]. Она заключается в возможности описания процесса вытеснения в конкретной геолого-физической картине пласта. Иными словами перед математикой поставлена задача моделирования уникальности при отсутствии экспериментальной воспроизводимости.

Постановка и описание проблемы. Новизна проблемы заключается в синтезе стандартного локального физико-математического описания посредством дифференциальных уравнений с уникальностью строения глобальной макрогеометрии пласта, которая должна рассматриваться как отдельный нефизический параметр, требующий включения в модель. Его глобальность есть невероятностная неопределенность. Эта неопределённость имеет характер «уже-заданной», наличной, но неопределимой алгоритмическими стандартными средствами структуры. Для её снятия не существует привычных формул, уравнений, алгоритмов, позволяющих сжать описание в какие-либо краткие формализмы. Она не имеет вероятности в классическом смысле.

Эта проблема известна в науке как проблема формализации связи Целого, большого (т.е. макрогеометрии пласта) и Части, малого (т.е. локального описания). В теории фильтрации этой паре соответствуют явления конвективного переноса, линейного движения жидкостей и диффузной теории перколяции. Если уравнения переноса трактуют пласт как однородную, предварительно отрегулированную среду, то теория перколяции имеет дело с неоднородностями и «чувствует» геометрию пласта.

Решение отмеченной проблемы состоит в переносе описания пласта из гладкого евклидова пространства во фрактальное гиперболическое. Этот шаг обосновывается дифференциальной геометрией – тело с множеством полостей (т.е. пор) является гиперболическим пространством [2]. Перенос и перколяция физически соответствуют двум сопряженным силам – растяжению и сжатию соответственно [3]. Эти противоположно направленные силы «ломают гладкость» пространства в каждой точке и превращают его во фрактальное. Они определяют двумерную, линейно-диффузную феноменологию течения, процессы которой независимы, но связаны гиперболической ортогональностью с законом сохранения массы. С другой стороны пространство пор описывается как многомасштабная сеть, которая также является гиперболическим пространством как в общем [4], так и в специальном плане для процессов транспорта [5]. Таким образом, эта пара сил характеризует – как математически так и физически, пространство пласта, как гиперболическое.

Системность. В то время как в физике ограничиваются лишь констатацией образования нового макроскопического свойства, кластера, например такого, как проводимость, в теории фильтрации дело обстоит сложнее. Здесь требуется отразить конкретную геометрию протекания и «форму вязких пальцев», т.е. указать в каком направлении будет развиваться фронт вытеснения. Форма фронта имеет решающее значение для проектирования процесса разработки пласта. При этом макроскопическое направление движения фронта зарождается уже на микроуровне процесса. Это типично нелинейный «эффект бабочки», требующий для своего учета введение «теоретического микроскопа», позволяющего отслеживать феномен на всем протяжении пространства и времени. Поэтому регулярные решения, основанные на механике сплошной среды здесь недостаточны.

Необходимость моделирования многопредметности – физико-химических превращений, электромагнитных, температурных, поверхностных явлений оказывается еще одним усложняющим фактором [6]. Его моделирование ведет к многомасштабному анализу. Фракталы – это не только масштабно геометрически инвариантное, но и масштабно качественно вариативное пространство вещества. С уменьшением масштаба меняются физико-химические свойства процесса. И, соответственно, модель процесса становится научно-многопредметной. Эта проблема известна в материаловедении как проблема формализации связи «состав-структура-свойство» (QSAR, QSPR – англ.) и эффект размера (частиц) (size effect – англ.) Поэтому ось иерархии масштабов, ось делимости вещества следует вводить как отдельную независимую координату процесса.

В современных теориях сложности разного рода часто используется вероятностная мера, посредством которой среда оцифровывается числовыми значениями. Теория вероятностей, как известно, полностью отделена от теорий вещества и материи, её мера вводится руками, её аксиоматика никак не связана с геолого-физико-химией процессов. И, неясно, как она может быть использована в контексте мультифизичности, многомерности и нелинейности, так как здесь требуется согласование аксиоматик вероятностей различных наук. Вместо вероятности мы будем использовать теорию возможностей. Эта теория имеет источники во всех научных разделах. Она согласована с масштабной осью размеров и описывает степень материализации, проявления некоторого свойства вещества, множества, информации. В первом приближении, чтобы не углубляться в теорию, за меру возможности некоторого свойства можно положить ультраметрику – величину p-адической характеристики множества, то есть меру Хаара в степени фрактальной размерности. Такая мера неопределенности присуща самому процессу и меняется вместе с ним, а не привносится извне. Она имеет прозрачный физический смысл насыщенности порового пространства жидкостью. Поэтому, в уравнениях непрерывности, сохранения массы мы будем заменять вероятность мерой возможности.

Как и все инженерные задачи, ориентированные на практический результат, а не на теоретизирование, модель, претендующая на адекватность целям проектирования и производственной конкретики, получается очень объемной. Теоретическая проблема заключается в смысловом сопряжении разделов, которое сделало бы связным их взаимодействие и снятие границ между ними. Смысловая связь наук, входящих в модель позволяет развить формальное понимание, которое далее можно транслировать в инженерные методики. Вычислительная проблема заключается в численном согласовании разных теорий, с тем, чтобы не потерять скрытые бифуркации на микромасштабах. Ввиду своей размерности и при наличии «эффектов бабочки» в движении фронта, эта проблема не может решаться приблизительно, упрощающими методами инженерных наук.

Специфика предполагаемой модели заключается во включении в теорию глобальной геометрии пористой среды. Целью настоящей статьи является демонстрация возможности интегрированного описания пласта на основе числовой асимметрии фракталов. Как системная теория этот подход имеет метатеоретический характер – теории (синтеза) уже разработанных отдельных теорий. Этот подход развивается авторами в течение ряда последних лет. [7] .

Числовая асимметрия пласта. Фрактальные среды представляются произведением двух основных числовых систем математики – вещественных R и p-адических (2-адических, диадических чисел Z_2). Эти системы определяют два различных, но совмещенных подпространства фракталов. Этот факт записывается как две точки зрения на фрактальную среду. С одной стороны она евклидова, гладкая, плотная. С другой – разрывная, иррегулярная, дисперсная.

$$R \leftarrow U = R \times Z_2 \rightarrow Z_2 \qquad (1)$$

Здесь: U – числовая модель фрактального пласта, R – её пространство переноса, линейного движения, Z_2- пространство диффузного, перколяционного развития.

Введение в модель p-адических чисел Z_2 позволяет ввести в модель геометрию такой сложной системы как пласт. Согласно С.Уламу (1955 г.) p-адические числа являются геометрическим инвариантом, то есть деревом, процессов бесконечной делимости материи от мега- до нано- масштабов. Согласно А.Н. Паршину (1984 г.) *p*-адические числа имеют логико-лингвистическую природу и представляют собой пространство языка. Ю.И, Манин (2012-2013 гг.) интерпретирует строки *p*-адического дерева-языка в терминах сложности и указывает на энергетическое содержание этой скрытой переменной физики. И.В. Тананаев рассматривает ось делимости материи, координату размеров частиц как отдельную переменную, вводя, по сути дела, новую степень свободы. Теория фракталов вмещает все эти интерпретации. Их объединение выглядит следующим образом. В зависимости от энергетики процесса (давления) меняется степень проникновения жидкостей в пористую среду, заполняя поры все меньшего размера, при этом меняются её физико-химические свойства и возникают новые эффекты (процессы), отсутствующие на верхних масштабах пор (адсорбция, электризация, намагничивание).

Иными словами, во фрактальном пористом пласте следует вводить эту дополнительную степень свободы. Здесь пока проблемой остается химия. Химизм материи пока слабо формализован. Известно, что химия является ключевой в многомасштабном моделировании и во многом определяет пластовые процессы [8]. В самом общем представлении химические процессы также протекают в пространстве числовой асимметрии – как пара процессов типа «реакция-диффузия» [9]. И с этой точки зрения физико-химические процессы также укладываются в *p*-адическое пространство [10].

В основаниях математики *p*-адические числа представляют второй способ координатизации, введения числовых характеристик и развития строгости, дополнительный к евклидову (декартову) способу.

Соответственно, все числовые параметры имеют вид мультипликативных чисел:

$$u = x \cdot \xi,\ x \in R, \xi \in Z_2 \tag{2}$$

Уравнение неразрывности. Рассмотрим уравнение неразрывности (CE – continuity equation – англ.) в простейшем виде без источников и стоков в рамках модели числовой асимметрии.

Прежде всего, обратим внимание на то, что параметр *u* из (2) в выражении (3) имеет двойной смысл: плотности массы (левая стрелка) и плотность в возможности (стрелка справа).

$$R \supset \rho \leftarrow x \cdot \xi \rightarrow \varphi \subset Z_2 \tag{3}$$

Плотность в возможности – это масса в процессе рассеяния/агрегирования, то есть масса еще не полностью сконцентрированная.

Вместо интегрального вида CE напишем его слабую форму, где вместо плотности вероятности примем плотность в возможности, т.е. степень её «материальности»:

$$CE\,(x,t;\ \xi,\tau),\ m = \int_V u \cdot dv \tag{4}$$

При этом в (4) явно выделяется объем *V*. В дополнении к физическому локально однородному объему $V^{\bullet}$ в пространстве R^3, мы рассматриваем его и как неоднородный, состоящий из множества пор V° пространства Z_2. То есть включаем в рассмотрение внутреннюю геометрию объема пласта [3].

$$(\,V^{\bullet}(x,t) \subset R^3\,) \xleftarrow{\ \bullet\ } V \xrightarrow{\ \circ\ } (\,V^{\circ}(\xi,\tau) \subset Z_2\,) \tag{5}$$

Как известно, уравнение неразрывности инвариантно относительно природы массы – оно верно для всех видов материи. Это значит, что оно не зависит от конкретного ее вида и является чисто геометрическим фактом, описывающим не только константность физических характеристик, но и движения границ раздела, фронтов. Такая техника развита в так называемом методе множеств уровня [11]. Она естественным образом включается в модель.

Обычной техникой дифференцирования интеграла с переменным объемом, с учетом двойственностей (1)-(5) получим уравнение неразрывности для движения фронта под действием переноса во времени *t*, и перколяции – τ :

$$CE_R(\rho, x, t) + CE_{Z_2}(\varphi, \xi, \tau) + CE_U(V(x, \rho\,; \xi, \varphi;\ t, \tau)) = 0 \tag{6}$$

$$t \cdot \tau \approx const$$

Спецификой задачи моделирования уникальности является «двумерное», конвективно-диффузное движение объема/фронта вытеснения $CE_U(V(x, \varphi, \xi, t, \tau)) = 0$. С учетом взаимной формальной независимости переноса и перколяции он сводится к паре уравнений с одинаковой правой частью:

$$CE_R(V,x,t) = V(x,t.\xi^*,\tau^*) \qquad (7)$$
$$CE_{Z_2}(V,\xi,\tau) = V(x^*,t^*,\xi,\tau)$$

Уравнения (7) с учетом соотношения времён (6) являются альтернирующей системой. Если работает перенос $\Delta t \approx 0 \to \Delta\tau >> 1$, то перколяция переходит в разряд шума, и, наоборот. Первое уравнение действует в линейном пространстве-времени при фиксированных переменных диффузного, второе – в диффузном, при фиксированном линейном пространстве-времени.

Второе уравнение в (7) собственно направляет течение в иррегулярной геометрии. Здесь используется 3D модель пласта с 3D картинами пористости, проницаемости как числовыми характеристиками сетевой структуры [12]. Такая картина снабжает уравнения (7) необходимыми коэффициентами по всей макрогеометрии пласта.

Продолжим использовать свойства *p*-адических чисел. Представим проблему фильтрации в качестве информационно-числовой голограммы – интерпретации геометрии пласта связью её компонент:

$$H \models Z_2 \cong \exp(Z_2) \cong [IFS \equiv \{0,1\}^N] \cong [Z_2 \to Z_2] \cong H \cong BA \qquad (8)$$

Здесь слева направо: числовая *2*-адическая фрактальная модель пласта (Z_2); набор его частей, геологических неоднородностей ($\exp(Z_2)$); пласт как формальный язык итеративной системы функций, координатизирующей пласт ($[IFS \equiv \{0,1\}^N]$); пласт как пространство непрерывных функций ($[Z_2 \to Z_2]$), т.е. каналов и пор, доступных течению; гильбертово пространство (H) потребное для теорий поверхностных и нано- явлений (по сути дела, пласт как сложная поверхность); пласт как булева алгебра (BA) в её интерпретации как геометрия причинности, т.е. траекторий движения частиц потока.

Синтез процессов описывается рефлексивной формулой:

$$\forall n \in N, \quad Z_2 \cong Z_2 \times Z_2 \times \ldots \times Z_2 = Z_2^n, \qquad (9)$$

где каждый сомножитель является одним из изоморфов. Отсюда их взаимовлияние; нисходящая причинность – влияние геометрии пласта, получается как:

$$Z_2^i = Z_2 \times \prod_{k \neq i} Z_2^k \qquad (10)$$

Представление физических параметров. Физические параметры, как входящие, так и пока не вошедшие в уравнения, являются числовыми мерами, распределенными на некотором геометрическом носителе – площади, объеме. Они изменяются вместе с самим носителем. В предлагаемой модели такими носителями являются частичные объемы, получающиеся при движении (делении пространства) по иерархии *p*-адического дерева. Этому геометрическому представлению соответствует ось размеров частиц и их свойства, представленные масштабной осью. Масштабная ось ставит в соответствие каждому размеру определенное физическое свойство [13].

Все разнообразие свойств материи образует пространство Z_2 в его интерпретации А.Н.Паршиным, т.е. как пространство языка, дополнительное к интерпретации Улама-Тананаева – размеров частиц. В этом пространстве ось иерархии содержит названия свойств – механические, электромагнитные, и т.п. Уровень иерархии поперек её оси – вариации величин свойств. Точнее эту схему можно представить, если ввести «толстые уровни», т.е. в определении числа задать нормирование рациональными числами. В этом случае в (9) и (10) имеет смысл выделить свойства $Z_2^{свойства}$:

$$Z_2^i = \{Z_2 \times \prod_{k \neq i} Z_2^k\} \times Z_2^{свойства} \qquad (11)$$

Таким образом, сопряжением деревьев делимости/масштабов/размеров и свойств материи создается пространство многомасштабного анализа.

Выражения (8)-(11) создают «лестницу» последовательного развития адекватности модели включением нужных параметров, число которых может варьироваться от пласта к пласту. Они позволяют единообразно включать или исключать из модели существенные или несущественные факторы и процессы. Детальное развитие этой схемы требует построения теории измерений, которая включала бы в себя не только разделы механики, но и физики, химии и термодинамики [14]. Тогда станет возможным обоснованное знание о влиянии микропроцессов на фильтрационные характеристики [8].

Подставляя такое представление в (8)-(11) получим взаимосвязь разнородных и разнопредметных параметров. Величина их связи дается тензорным произведением метрик соответствующих представлений. Для наших целей важно то, что тензорное произведение метрик имеет максимум и минимум, что позволит развить анализ на лимитирующие факторы фильтрации в различных условиях. Соответственно становится возможным развитие диагностики и управления процессом.

3D–образ. Сопряжение конвергентного и дивергентного процессов в формальных методах отображается как сопряжение градиента (вектора) $gradV$ потенциального поля V с дивергенцией (скаляром) $divV$. Это объясняется тем, что поле градиентов $gradV$ на скалярном поле V характеризует направление скорости изменения уровней этого поля, а $divV$ – расход поля в данной конкретной точке. Тогда закон Дарси в нашей схеме удваивается и повторяет вид для уравнения неразрывности (4)-(6). В его формулировку входит давление не только в конвергентном, энергетическом виде, но и в дивергентном, энтропийном распределении по порам различного размера. Уравнение Дарси во втором случае, т.е. в Z_2, необходимо сопряжено с масштабной осью качеств/свойств материи, т.к. на процесс начинают оказывать существенное влияние капиллярные силы, поверхностные и химические явления.

Тогда общее уравнение движения $v = -k \cdot gradP$ дополняется своим нелокальным 3D-распределенным видом, т.е. имитацией процесса на всем объеме пласта. В этом втором представлении все параметры представлены своими p-адическими образами.

За описанной схемой стоит большой объем физико-химического моделирования и работы по систематизации измерительных процедур и методик, которая должна составлять теорию измерений в нефтегазовом производстве [15]. В настоящее время единая, согласованная теория измерений полностью отсутствует. Эта область представляет набор разнообразных несвязанных фактов.

Вычислительная асимметрия и природа вязких пальцев. Решение системы уравнений (6)-(7) невозможно привычными аналитическими методами из-за информационной несвертываемости макрогеометрии в изолированное формальное описание. Идея решения заключается в синтезе теории и имитации – единственном подходе описания движения сложной системы.

В нашей модели возникает новый эффект, который заключается в связи гладкой аналитической части с дискретной имитационной. Эта связь реализуется двойной дискретно-непрерывной динамикой объема (7). В евклидовом пространстве работает метод множеств уровня, в p-адическом – дискретные «ползучие» техники (turtle graphics – черепашья геометрия).

В соотношении скоростей этих процессов скрыто возникновение бифуркаций – формы фронта вытеснения. Они порождают место возникновения и направление развития так называемых вязких пальцев (viscous fingers – англ.) [16]. Здесь нерешенной пока проблемой остается моделирование распределения давления на микро- и нано- уровне [17], которая является ключевой для отслеживания точек бифуркаций фронта.

Природа вязких пальцев заключается в выборе фронтом жидкости направления развития в зависимости от распределений составляющих комплекса факторов – проницаемости, размеров и геометрии пор, вязкости, давления нагнетания, физико-химии контактов материальных фаз. Этот параметр является нелокальным, несводимым к «физически бесконечно малому объему». Поэтому для его воспроизведения нужна модель с нелокальными свойствами. Такими являются сети и клеточные автоматы – несинтаксические, неформально-логические, недедуктивные способы описания сложных систем.

Эта модельная техника получила развитие в решеточном уравнении Больцмана и клеточно-автоматных моделях физических процессов. В ней геометрия несущей среды представляется отделенной от самого процесса и не входит в него. Клеточно-автоматные методы и модели решеточного уравнения Больцмана в настоящее время широко используются в различных физических процессах [18], в том числе и пористых средах [19]. Наш подход дополняет автоматную технику аналитикой движения объема.

Все пространство пласта можно отобразить большой матрицей. Хорошей иллюстрацией может служить изображение на экране монитора. Известно, что матричный анализ во многом повторяет обычное дифференциальное исчисление. Тогда, представления (8)-(10) есть матричные представления геолого-физических параметров. Уравнение Дарси не меняет вида при замене числовых величин их матричными представлениями и, поэтому, удваивается. Соответственно, здесь используются матрицы двух видов – стандартные и кронекеровы, действующие по двум осям – переносу и диффузии [20]. Поэтому матричное моделирование является продолжением модели числовой асимметрии пласта. Оно сочетает в себе методы решения дифференциальных уравнений для первого уравнения (6) в регулярной среде и решеточные методы имитации поведения этих решений в иррегулярной среде.

Описанная матричная модель имеет нелокальный характер. Динамика объема моделируется локальными, частичными распределенными объемами с матрицами в виде матриц смежности. Их движение по макрогеометрии имеет вид движения «поля зрения», области наблюдения. В этом случае изоморфы в соотношении (9) имеют смысл, как в (12), который извлекается из 3D модели пласта.

$$(Z_2 - \text{поры})\times (Z_2 - \text{проницаемость}) \times (Z_2 \to Z_2 - \text{линии тока}) \times \\ \times (2^{Z_2} - \text{причинность}) \qquad (12)$$

Булева алгебра (Boolean array-булев вектор, bitmap-траектория пикселей, англ.) как модель причинности [21] вместе с градиентом поля линий тока аналогична правилу перехода для клеточных автоматов, представляющих собой систему, поведение которой полностью определяется текущим состоянием поля и локальными взаимодействиями [22]. Соответственно, дополнения и вариации уравнения Дарси будут отражаться этим правилом адекватно.

Перспектива развития метода. Развитие модели может происходить в направлении учета физико-химической механики скелета пласта и взаимодействия его с флюидом. В этом случае для скелета как сложной среды можно развить предлагаемый подход, образовав пару «внешнее (скелет)-внутреннее (флюид)». В этом случае в рассмотрение вводится второе пространство числовой асимметрии. Объединение этих пространств в реальный пласт дает проективную плоскость [23]. Проективная плоскость допускает переходы противоположных процессов, таких как, например, адсорбция и десорбция, испарение и конденсация и т.п. Тем самым создается пространство для последовательной физико-химической теории.

Заключение. В работе был описан подход к построению теории пластовых систем, ориентированный на достижение адекватности практическим требованиям – уникальности и многопредметности (многофакторности). В деталях эта модель имеет в значительной степени характер развития программных систем и органична современной идее цифровизации. Использование *p*-адических чисел позволяет расширить возможности моделирования без потери достигнутых результатов, как в теории, так и в практике нефтяной науки.

Недостатком метода является практически полное отсутствие сущностных математических моделей химии. В некоторой степени этот изъян может быть компенсирован балансовыми моделями. Но это остается в области эмпирии, в каждом случае вопрос должен быть исследован отдельно до включения его в модель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тер-Саркисов, Р. М. Геологическое и гидротермодинамическое моделирование месторождений нефти и газа / Р.М. Тер-Саркисов, В.М. Максимов, К.С. Басниев [и др.]; под ред. проф. В.М. Максимова и проф. Р. М. Тер-Саркисова. – М.: –Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2015. – 452 с.

2. Hyde, S. et.al. The Language of Shape. Elsevier, 1997. – 383 p., ch.1.
3. Изотов, А.Д. Математический базис инновационных технологий нефтегазовой промышленности/ А.Д. Изотов, Ф.И. Маврикиди, С.А. Хорьков // Управление техносферой: электрон. Журнал. 2019. – Т.2. Вып. 4
4. Wei Peng et.al. Hyperbolic Deep Neural Networks: A Survey// arXiv:2101.04562v3 [cs.LG] 17 Feb 2021
5. Krioukov, D., et.al. Hyperbilic geometry of complex networks// Phys. Rev. E 82, 036106 (2010)
6. Zhen(Leo) Lui Multiphysics in Porous Materials. Springer, 2018. – 431 p.
7. Хорьков, С.А. Ценозы, системы и их модели: монография/ С.А.Хорьков, Ф.И. Маврикиди. – Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2021. – 92 с.
8. Сургучев, М.Л. Физико-химические микропроцессы в нефтегазоносных пластах / М. Л. Сургучев, Ю. В. Желтов, Э. М. Симкин. – М.: Недра, 1984. – 215 с.
9. Grzybowski B.A. Chemistry in Motion. Reaction-Diffusion Systems for Micro- and NanoTechnology. Wiley, 2009. – 288 p.
10. Adamatzky, A. et.al. Reaction-Diffusion Computers. Elsevier, 2005. – 349p.
11. Gibou, F., Fedkiw R., Osher S. A Review of Level-Set Methods and Some Recent Applications//J. Comput. Physics, 2018, vol3, p.82-109
12. Закревский, К.Е. Геологическое 3D моделирование/ К.Е. Закревский. – М.: Маска.2009. – 376с.
13. Сухонос, С.И. Масштабная гармония Вселенной/С.И. Сухонос. – М.: Изд-во Новый центр, 2002. – 253 с.
14. Panfilov, M. Physicochemical Fluid Dynamics in Porous Media. Wiley, 2019. – 396 p.
15. Cai J. Et.al. (eds.) Modelling of Flow and Transport in Fractal Porous Media. Elsevier, 2021. – 272 p., Ch.3,4,5
16. Si Suo et.al. Fingering Patterns in Hierarchical Porous Media// Phys. Rev. Fluids 5, 034301, 2020
17. Galteland O, Bedeaux D, Hafskjold B and Kjelstrup S (2019) Pressures Inside a Nano-Porous Medium. The Case of a Single Phase Fluid. //Front. Phys. 7:60. Doi: 10.3389/fphy.2019.00060
18. Chopard, B., Droz M. Cellular Automata Modeling of Physical Systems. Cambridge U.P., 1998. – 340 p.
19. Succi S. The Lattice Boltzmann Equation for Complex States of Flowing Matter. Elsevier, 2018. – 288 p., Ch/19

20. Изотов, А.Д. Фракталы. Делимость вещества как степень свободы в материаловедении/ А.Д. Изотов, Ф.И. Маврикиди. – Самара, СГАУ, 2011. – 128 с.,
21 Яглом, И. М. Булева структура и ее модели/ И. М Яглом. –М.: Сов. радио,1980. – 192 с.
22 Тоффоли, Т. Машины клеточных автоматов/Т. Тоффоли, Н.Марголус// Пер. с англ. –М.: Мир,1991. – 280 с.
23. Хорьков, С. А. Причинность ценозов и систем / С. А. Хорьков, Ф. И. Маврикиди // Федоровские чтения – 2023 : LIII Всерос. науч.-практич. конф. с междунар. участием (с элементами науч. шк. для молодежи) / М-во науки и высш. образования РФ, Нац. исследоват. ун-т "МЭИ". – М. : Издательство МЭИ, 2023. – С. 442 -450.
24. Bennethum, LS, Weinstein T. Three pressures in porous media. //Transp Porous Media. (2004) **54**:1–34. doi: 10.1023/A:1025701922798
25. Galteland, O, Bedeaux D, Hafskjold B and Kjelstrup S (2019) Pressures Inside a Nano-Porous Medium. The Case of a Single Phase Fluid. //Front. Phys. 7:60. doi: 10.3389/fphy.2019.00060
26. Nikiel, S. Iterated Function Systems for Real-Time Image Synthesis. Springer, 2007. – 152 p.
27. Aja-Fernandez, S. et.al. Tensors in Image Processing and Computer Vision. Springer, 2009 – 466 p.
28. Valavanides ,M.S., Payatakes A.C. True-to-mechanism model of steady-state two-phase flow in porous media, using decomposition into prototype flows // Advances in Water Recourses 24 (2001). pp. 385 – 407.
29. Дюбуа, Д. Теория возможностей. Приложения к представлениям знаний в информатике /Д, Дюбуа, А.Прад //Пер с фр. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
30. Хорьков, С.А. Теория возможности при расчете электропотребления многономенклатурного цеха промышленного предприятия // Федоровские чтения-2019: материалы XLIX Международной научно-практической конференции с элементами научной школы (Москва 20 – 22 ноября 2019) / под общ. ред. Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. М.: Издательский дом МЭИ, 2019. – С. 90 –94.
31. Krzhizhanovskaya, V.V. Sun S. Simulation of Multiphysics multiscale systems: Introduction to the ICCS’2007 workshop. / In: International conference on computational science. Springer,Berlin/Heidelberg, (2007), pp 755–761
32. Meagher, D. Geometric Modelling Using Octree Encoding// Computer graphics and image processing 19, 129-147 (1982)

33 Хавкин, А. Я. Наноявления и нанотехнологии в добыче нефти и газа. – М.–Ижевск: НИЦ «РХД», ИКИ, 2010. – 692 с.
34 Нургатин, Р.И. Применение 3D моделирования в нефтегазовой отрасли/ Р.И. Нургатин, Б.А. Лысов // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН № 1 (44) 2014,66-73
35. Мирзаджанзаде, А.Х. Моделирование процессов нефтегазодобычи. Нелинейность, неравновесность, неопределенность/ А.Х. Мирзаджанзаде, М.М.Хасанов , Р.Н.Бахтизин. – М.: –Ижевск: ИКИ, 2004. – 368с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная книга выполнена «в малой окрестности» оснований ценозов, систем и математического моделирования, той области знаний, которая была в значительной степени упущена в XX веке в работах по кибернетике и математического моделирования систем. Главным мотивом авторов было стремление сдвинуть эту область с мертвой точки и найти для нее адекватный математический аппарат. Работа основывается на многолетнем опыте работы авторов в указанной области.

Как показывает практика прикладных математических исследований, одних физических представлений явно недостаточно для познания явления сложности – как искусственной, созданной человеком, так и естественной, созданной Природой. Сегодня эта позиция привлекает растущее внимание исследователей, число публикаций в этом направлении стремительно растет, так же как и количество исследовательских институтов, лабораторий и тем, посвященных указанной сложности. Многое в этом плане остается в философско-методологической литературе и не проникает в область, освоенную представителями естественных наук.

Сформулированный авторами новый подход к формализации проблемы единства Природы и Человека – введение в модель p-адических чисел и их интерпретации наравне с вещественными числами, и привлечение известных фактов фрактальной геометрии, дает возможность в первом приближении согласовать формальные методы математики со смыслом технической и естественнонаучной областей. Подход оказывается хорошо обеспеченным различными разрозненными фактами математики, которые теперь объединяются в целостную теорию. Практика применений математики показывает, что в таком случае, когда удается получить уравнения или иные расчетные соотношения, дальнейшее развитие становится делом техники. Новым в этой технике явится необходимость согласования формальной теории с предметными методами измерения.

Следующим шагом видится разработка методов согласования предметных измерений с математическими метриками вещественных и p-адических чисел в выбранной предметной области. В случае ценозов и иных техногенных систем особое значение приобретет формализация методов управления как манипулирования измеримыми величинами. Для этого подготовлена формализация восприятия человека. Заметим, что следствием такого решения будет формулировка требований к компетенции лица принимающего решение (ЛПР), руководящего предприятием и/или его подразделением. В случае естественных систем – экологических, водных, геологических и т.п. приведенная «антиномичная» система уравнений (соотношения (20) – (23) раздела 1) позволит включить в анализ реакцию внешней среды на техногенные воздействия.

Значительной темой, которая не затронута в работе является исследование взаимодействия техногенных объектов с естественной средой – познание отдаленных последствий технического воздействия на природу. Эта теме также стоит на пространственно-временном явлении двойственности – «локальное-глобальное», но требует отдельного цикла работ. Она напрямую подводит к постановкам задач о скорости технического прогресса, о восстановительной способности окружающей среды, дополнительной к валютам экономики.

Иными словами, многое из того, о чем говорится в цикле эколого-экономических вопросов, может получить свое развитие на основе предложенного подхода. Тем самым, в перспективе можно ставить задачу включения Природы в экономику в качестве равноправного участника.

В плане описания расчётных методик, предлагаемая работа является незаконченной, Авторы тешат себя надеждой, что исследователи – как теоретики, так и практики, имеющие опыт работы со сложными объектами, смогут оценить адекватность представленного подхода и увидеть пути его дальнейшего развития.

СОДЕРЖАНИЕ

Сведения об авторах

Хорьков Сергей Алексеевич
доцент кафедры теплоэнергетики, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», Институт нефти и газа им. М. С. Гуцериева. 426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1, корп.7. E-mail: horkov_07@mail.ru

Маврикиди Федор Иванович
к.т.н., с.н.с. Институт проблем нефти и газа Российской академии наук
Тел.: +7(916)7966320 E-mail: mavrikidi@mail.ru

About the Authors

Khor'kov Sergei Alekseevich
Associate Professor, Department of Heat Power Engineering, Udmurt State University, Oil and Gas Institute named of M.S. Gutseriev. 426034, Russia, Izhevsk, Str. University, 1/7, Tel.: +7(912)7671690 E-mail: horkov_07@mail.ru

Mavrikidi Fyodor Ivanovich
PhD., senior researcher Institute of oil and gas problems of the Russian Academy of Sciences. Tel.: +7(916)7966320 E-mail: mavrikidi@mail.ru

Научное издание

Хорьков Сергей Алексеевич
Маврикиди Федор Иванович

ТЕХНОЦЕНОЗЫ, СИСТЕМЫ И ИХ МОДЕЛИ

Авторская редакция

Подписано в печать 20.02.2025. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$.
Усл. печ. л. 18,02. Уч.-изд. л. 18,32. Гарнитура «Таймс».
Бумага офсетная № 1. Тираж 300 экз. Заказ № 25-09.

АНО «Ижевский институт компьютерных исследований»
426053, г. Ижевск, ул. Ворошилова, д. 123.
E-mail: mail@rcd.ru http://ics.com.ru Тел./факс: +7(3412)50-02-95
Отпечатано в цифровой типографии
АНО «Ижевский институт компьютерных исследований»
426053, г. Ижевск, ул. Ворошилова, д. 123.