СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКАХ О ПРИРОДЕ И ОБЩЕСТВЕ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
Основан в октябре 2011 года

№1(14)-2(15)'2018

Донецк

УДК 001.5:004.9

Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе (САИТ-2018), №1(14)–2(15)'2018. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – 167 с.

Публикуется по решению Ученого совета Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет» (протокол № 9 от 21.12.2018).

Настоящий сборник научных трудов посвящен междисциплинарным исследованиям в науках о природе и обществе. Публикации охватывают широкий спектр проблем – от фундаментальных вопросов системного анализа до прикладных разработок в области информационных технологий.

Материалы сборника предназначены для научных сотрудников, преподавателей, инженерно-технических работников, аспирантов и студентов, научные интересы которых связаны с системным анализом и моделированием, междисциплинарными исследованиями и информационными технологиями в науках о природе и обществе.

Выпуск сборника научных трудов осуществлен факультетом компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета.

System analysis and information technology in environmental and social sciences (SAIT-2018), no.1(14)–2(15)'2018. Donetsk, DonNTU, 2018, 167 p. (in Russian)

This journal issue is devoted to interdisciplinary research in environmental and social sciences. Publications cover the broad scope of problems – from fundamental questions of system analysis to applied developments in information technology.

The journal is for researchers, teachers, engineers, students whose research interests are related to the system analysis and modeling, interdisciplinary research and information technology in environmental and social sciences.

The issue of the journal was carried out by the computer science and technology department of Donetsk National Technical University.

Учредитель и издатель – ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет».

Сборник научных трудов основан в октябре 2011 года, выходит 2 раза в год.

Сборник научных трудов зарегистрирован в Министерстве юстиции Украины. Свидетельство о государственной регистрации печатного средства массовой информации. Серия КВ №17409-6179 Р от 05.01.2011 г. Сборник зарегистрирован в Министерстве информации ДНР. Свидетельство о регистрации средства массовой информации №310 от 06.08.2015.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКАХ О ПРИРОДЕ И ОБЩЕСТВЕ

Сборник научных трудов

Основан в октябре 2011 года

Выходит 2 раза в год

№1(14)–2(15)'2018

ДОНЕЦК

Системный анализ и информационные технологии

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ОСНОВАН В ОКТЯБРЕ 2011 ГОДА

№1(14)-2(15)'2018

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Системний аналіз та інформаційні технології

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

ЗАСНОВАНО У ЖОВТНІ 2011 РОКУ

№1(14)-2(15)'2018

З М І С Т

System analysis and information technology

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

FOUNDED IN OCTOBER 2011

№1(14)-2(15)'2018

CONTENTS

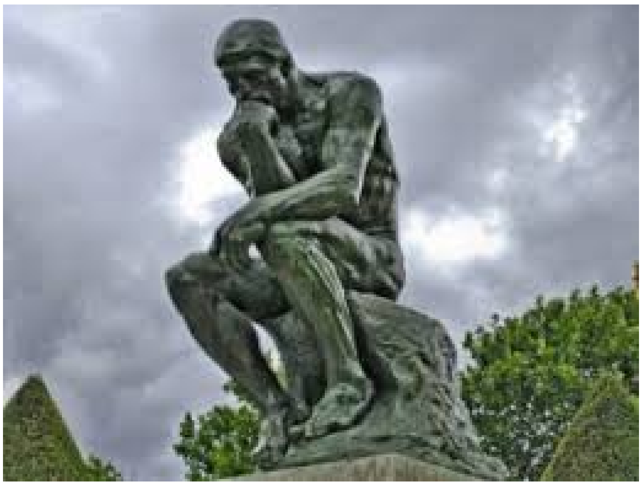
ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

Введение

А факт – самая упрямая в мире вещь.

Воланд, персонаж романа «Мастер и Маргарита»

Уважаемые читатели, перед вами специальный выпуск журнала «Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе», где значительная часть сборника посвящена междисциплинарным исследованиям, и в частности, проблемам взаимоотношения естественных и гуманитарных наук, созданию



онтологий, построению теорий и применению методов системного анализа и математического моделирования в процессе проведения социо-гуманитарных исследований. Данная проблемная область науки обсуждается крайне редко, очень мало интересных научных работ, посвященных применению естественнонаучных методов и математического моделирования в философии, истории, этнографии, лингвистике, глобалистике, регионалистике и других общественных науках.

Например, в философии актуальные проблемные вопросы в этом плане могут звучать следующим образом. Почему есть Философия математики, но нет Математики философии? Можно ли формализовать некоторые разделы философии, например, диалектику? Как подойти к количественному описанию наиболее общих законов развития природы и общества? и т.д. В других гуманитарных науках такие вопросы можно сформулировать в виде: Как создавать математизированные теории в предметных областях, где слабо используются естественнонаучные и математические методы? Можно ли применить общую схему анализа эмпирических данных и построения моделей по отношению к системам различной природы? Как перейти от описательных к системно-феноменологическим теориям в гуманитарном знании? и т.д.

Проблема взаимоотношения естественных и гуманитарных наук – это вековой спорный вопрос естественников и гуманитариев, несмотря на то, что вся наука рождена в древности плеядой известных натурфилософов, которые были одновременно и философами, и физиками, и математиками. Данная проблема связана с абсолютно разными парадигмами представления, описания и анализа эмпирических фактов и различными системами образования, общепринятыми в данных областях знаний.

Исторически сложилось, что суть оснований естественных и гуманитарных наук лежит в использовании качественно отличных моделей в процессе познавательной деятельности, в различном соотношении применения объективных и субъективных методов исследований, а также в разных методологиях, основанных соответственно на количественном и качественном описании реального мира. Различие парадигм этих областей знаний обусловлено использованием разных языков при отображении образов реального и абстрактного мира, своего рода знаковых систем кодирования информации об окружающей действительности. При этом гуманитарные науки используют естественные человеческие языки, а естественные науки – как естественные, так формальные языки. Специфика этих наук во многом также определяется степенью формализации и идеализации изучаемых объектов и явлений.

Современная наука пока не имеет общей теории описания эмпирических данных, хранящихся в базах данных и характеризующих системы различной природы. Данный аспект касается проблемы получения знаний на основе имеющейся информации. Решение этой задачи позволило бы подойти к количественному описанию общих законов развития природы и общества. Гносеологические аспекты современной науки во многом определены развитием объектов во времени и в пространстве их свойств, что является одним из самых актуальных направлений моделирования сложных систем. Причем, ключевая задача связана с представлениями об образах объектов на основе эмпирических фактов и созданием моделей, которые будут отличаться высоким уровнем формализации представления этих образов.

Эволюционные тенденции, которые наблюдаются в современной науке, указывают на то, что конвергенция естественнонаучного и гуманитарного знания неизбежна. Как бы ученые различных направлений не относились к вопросу о взаимоотношении естественных и гуманитарных наук, следует признать, что естественные науки находятся на более высоком уровне развития, так как в процессе онтологических исследований используют как естественный человеческий язык, так предметно ориентированные формализованные языки. Поэтому одна из важных задач естественных наук связана с поддержкой гуманитарных наук в своем развитии.

Данный сборник затрагивает некоторые из перечисленных выше фундаментальных проблем научного знания. Выпуск содержит два тематических раздела, посвященных гуманитарной и естественнонаучной областям: раздел «Гносеологические аспекты моделирования, формулировка законов и теорий» и раздел «Прикладной системный анализ и моделирование». Также имеются разделы «Актуальные вопросы современной математики», «Усовершенствование учебного процесса и методическое обеспечение». В этих рубриках представлен ряд статей, которые по нашему мнению могут привлечь внимание широкого круга читателей.

Авер

проф. Г.В. Аверин

Раздел 1

Гносеологические аспекты моделирования, формулировка законов и теорий

УДК 303.732.4:303.094:122/129

Естественнонаучные методы в философии: о принципах математического моделирования в диалектике

Аверин Г.В.
Белгородский государственный национальный исследовательский университет
averin.gennadiy@gmail.com

Аверин Г.В. «Естественнонаучные методы в философии: о принципах математического моделирования в диалектике». *Будущее теорий моделирования при описании процессов и явлений в природе и обществе связано с тенденцией перехода от качественных моделей к количественным. Возможность использования естественнонаучных и математических методов в философии очень часто вызывает у представителей этой науки формальные сомнения и возражения. То, что естественные науки не могут пока охватить многие области знаний, исторически относящиеся к философии, связано с отсутствием систематизированных эмпирических данных, позволяющих провести формализацию понятий и задач и сформулировать исходные принципы и закономерности для построения прикладных теорий. В данной работе идея общего подхода при моделировании систем различной природы связана с математическим описанием многомерных пространств состояний таких систем и использованием массивов данных наблюдений, представленных в единой структурированной темпоральной (временной) форме. В статье, в качестве примера, делается попытка применить эту идею к формализации некоторых положений и категорий диалектики, как науки о всеобщих законах движения и развития природы и общества. Формулируются общесистемные принципы и гипотезы, которые могут быть использованы при едином описании состояний объектов и систем. Кратко изложены основные положения теории и метод поиска закономерностей и зависимостей для практических приложений. Предложена методика получения уравнений состояний и системно-феноменологических соотношений для описания различных классов объектов и дана характеристика соответствующих этапов процесса моделирования. На конкретных примерах моделирования физико-химических систем, биологических объектов, социально-экономического состояния стран, регионов и городов, анализа исторических и семантических данных и т.д. продемонстрирована возможность построения математических моделей на основе предложенного общесистемного подхода. Показано, что естественнонаучные методы и принципы математического моделирования могут быть введены в логическую структуру диалектики и позволяют получить прикладные модели для системного описания макроскопических свойств природы и общества.*

Ключевые слова: диалектика, объекты различной природы, естественнонаучные методы и принципы математического моделирования, модели описания эмпирических данных, примеры построения моделей.

Введение

В настоящее время в структуре научного знания наблюдается явное разделение на естественные и социогуманитарные науки, которые охватывают различные предметные области исследований. Суть различий затрагивает основания данных наук и определяет процесс формирования парадигм, сложившихся в этих областях знаний. В естественных науках используются естественнонаучные методы познания, которые в своей сути объективны, формализованы по отношению к познаваемому классу объектов и отличаются применением количественных моделей при описании процессов и явлений. В свою очередь, методы социогуманитарных наук субъективны, индивидуально конкретны по отношению к экземплярам класса объектов и отличаются использованием качественных моделей.

К общим методам естественных наук относятся наблюдение и эксперимент, метод гипотез и аксиоматический метод, методы индукции и моделирования. При естественнонаучном исследовании широко применяются системный анализ, математическое и компьютерное моделирование, вероятностно-статистические и имитационные методы и т.д.

В естественных науках чаще всего используется индуктивный научный метод, когда формируется процесс познания от частного к общему, от простого к сложному, от феноменологии, аксиом и постулатов к теориям. В свою очередь, в основе многих социогуманитарных наук лежит дедуктивный научный метод, в рамках которого формируется процесс познания от сложного к частному. И в этом плане имеется существенная гносеологическая проблема – чаще всего онтологии, фундаментальные теории или модели нельзя сформировать на самом сложном уровне на основе интуитивного озарения, а тем более обосновать их справедливость.

В научном познании мира постановка любой задачи заключается в том, чтобы перевести ее словесное (вербальное) описание в формальное, т.е. провести формализацию задачи. В естественных науках предполагается обязательное обобщение и формализация основных закономерностей, характеризующих природные явления, а также их количественное описание путем формулировки исходных фундаментальных гипотез, теорий и моделей. Во всех современных естественнонаучных теориях, так или иначе, при формализации используется как мысленное (абстрактное), так и реальное модельное описание, в частности, физическое, математическое или компьютерное моделирование рассматриваемых процессов или явлений. При этом под моделью обычно понимают некоторое упрощенное представление о реальном объекте, которое, отображая или воспроизводя объект исследования, заменяет его и предоставляет о нем новую информацию, которая не является очевидной. В первооснове построения любой естественнонаучной теории или модели лежат простые и однозначные начальные понятия, определения и гипотезы.

В свою очередь, социогуманитарные науки основаны на мысленном представлении основных закономерностей гуманитарных и общественных процессов путем построения гипотетических, вербальных, метафорических, социально-философских, экспертных и подобных им модельных описаний, которые позволяют получить преимущественно качественные характеристики изучаемых явлений. Отличительной чертой такого подхода чаще всего является изначальное использование сложных и многозначных начальных понятий, определений и гипотез. Количественные модели (например, знаковые математические модели) используются в этих науках значительно реже, что указывает на сложности в построении формальных языков моделирования в данных областях знаний и формулировки на их основе количественных закономерностей.

Если в экономике и социологии достаточно широко используются математические и компьютерные модели и вероятностно-статистические методы [1–7], то в философии и истории применение формализованных моделей относительно редкое событие. Большинство работ, связанных с использованием математических моделей в исторических исследованиях, основано на статистической обработке данных исторических источников и применении некоторых видов аналитических, геоинформационных и имитационных моделей [8, 9]. Последнее время наблюдаются предпосылки к расширению области применения количественных моделей (в том числе и математических) в исторических и некоторых социальных и гуманитарных исследованиях. Развиваются новые междисциплинарные научные направления, такие как социофизика, социоинженерия, квантитативная история, клиодинамика и т.д. [2–4, 6–9], применяющие естественнонаучные подходы и методы.

Однако если же говорить о философии в целом, то данная наука еще не вышла на этап создания содержательных и наглядных моделей, которые могли бы составить определенную конкуренцию моделям, применяемым в естественных науках. И это связано с некоторыми причинами.

В математике, физике, информатике и других естественных науках используются формальные языки, которые ориентированы на описание количественных закономерностей и отношений между идеализированными объектами.

В свою очередь, язык философии – это обычный естественный язык. Философия так и не смогла создать свой специфический формальный язык. Поэтому, используя только естественный язык, философам не удалось дать строгие формализованные и однозначные определения многим философским понятиям и категориям.

Создание или адаптация формальных языков является закономерным процессом развития любой науки, так как это позволяет систематизировать эмпирические знания, обобщить существующие закономерности и лучше понимать сущность наблюдаемых процессов и явлений.

Также различие парадигм естественнонаучных и социогуманитарных областей знания во многом связано со степенью формализации и идеализации изучаемых объектов и явлений, а также способами представления модельных описаний, используемых в данных областях.

Все естественные науки являются эмпирическими, и на вопрос о возможности существования единого теоретического содержания эмпирического знания по отношению к системам различной природы сегодня не имеется ответа. Философия исторически «претендует» на формулировку такого единого содержания, но пока безуспешно. На качественном гипотетическом уровне, без логической и математической формализации понятий и категорий объективной реальности, без выявления общего феноменологического содержания существующего эмпирического знания это вряд ли возможно. Не удалось это осуществить и в физике, и в общей теории систем, что говорит об исключительной сложности проблемы.

Однако, тенденции, которые наблюдаются в современной науке, указывают на то, что конвергенция естественнонаучного и гуманитарного знания неизбежна. Конвергенция наук – это очень медленный процесс, для влияния на него необходима совокупность идей, на основе которых можно было бы сформулировать критерии изоморфности по отношению к системам различной природы. Некоторые мысли в этом плане высказал И. Пригожин, который много времени и сил потратил на изучение феномена времени [10, 11]. Его мечтой было способствовать унификации естественных наук и философии через решение проблемы времени, что позволило бы наметить черты будущей науки с универсальной методологией. Здесь предполагается исходить из идеи, что логическую природу объектов можно рассматривать как непрерывную серию различных состояний во времени.

Как отмечал И. Кант, «философия есть только идея возможной науки, которая нигде не дана *in concreto*, но к которой мы пытаемся приблизиться различными путями» [12]. Один из таких путей лежит в создании новой методологии моделирования, которая позволяла бы использовать общую логическую схему обработки и анализа эмпирических данных и единую систему построения математических моделей по отношению к различным классам объектов и явлений. Это могло бы стать основой теоретической науки с универсальной методологией, применимой в различных областях знаний.

Исходя из этого, предполагаем искать определенный изоморфизм для систем различной природы по отношению к данным эмпирических наблюдений, представленным в общей структурированной темпоральной (временной) форме. Считаем, что меры схожести состояний объектов и систем, как критерии изоморфности, могут быть связаны с общим системным описанием процессов и явлений как темпоральных закономерностей, которые для объектов различной природы имеют слабую или сильную степень выраженности.

На основе этого попытаемся ответить на следующие вопросы: Возможна ли высокая степень формализации при описании объектов и явлений в науках, где пока не применяется математическое моделирование и создаются преимущественно качественные модели? Существуют ли системные связи в физических, биологических и социальных явлениях и в чем их суть? Каким путем можно построить общесистемные количественные теории, применимые как в естественных, так и в социогуманитарных науках? Какие универсальные принципы измерений могут быть использованы при построении количественных теорий и моделей?

Суть ответов на поставленные вопросы затрагивает основания многих наук и тесно связана с общими представлениями, которые присущи всем областям знаний. Попробуем воспользоваться «научным багажом» естественных наук, чтобы применить его к математической формализации некоторых положений и категорий диалектики. Считается, что данная наука о наиболее общих законах развития природы, общества и мышления, является онтологическим, гносеологическим и логическим учением, поэтому, на наш взгляд, она более всего ориентирована на работу с темпоральными моделями, характеризующими изменение объектов и систем во времени.

Диалектика, подобно развитым естественным наукам, представляет собой систему принципов, категорий и законов и методологически чем-то родственна этим наукам [13, 14]. Ее положения являются абстракциями более высокого порядка по отношению к конкретным наукам, однако носят качественный и крайне размытый характер. При этом, диалектика построена с отдельными нарушениями логики и, в целом, достаточно запутанно. Однако, противоречия и логические парадоксы тоже имеются в основаниях многих естественных наук.

В математической логике используются методы аксиоматики, в свою очередь, диалектика по своему существу должна представлять систему логических категорий и аксиоматических построений, являющихся результатом синтеза познавательной и практической деятельности. Тем не менее, в данной науке многие общесистемные понятия не четко определены, логическое обоснование множества утверждений отсутствует, аксиоматическое изложение различных разделов диалектики не получило своего развития, хотя попытки этого наблюдались в исследованиях ряда ученых. Также с помощью следствий из теории диалектики не были получены конкретные законы в различных областях знаний, а наука без практических приложений не может претендовать на универсальность.

Как отмечал К. Поппер, «огромные претензии» диалектики на занятие места общей теории мира, не имеют пока под собой не малейшего основания [15]. Сам Гегель утверждал, что зачастую не понимает собственной системы. Сегодня в естественных науках в процессе развития теорий нет необходимости в использовании законов диалектики. Такая ситуация будет продолжаться до тех пор, пока в диалектической методологии

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

будут применяться только качественные методы. Без создания общей количественной теории для описания различных классов объектов и явлений диалектика обречена на качественное обобщение растущего естественнонаучного знания, без чего естественные науки вполне могут обойтись и своим «научным багажом». В современном знании «свято место пусто не бывает», поэтому уже формируются науки, которые вполне могут «взять на себя» роль диалектики в описании реального мира. В этом плане можно привести примеры социофизики, общей теории систем, системодинамики, темпорологии и т.д., где идет процесс поиска универсальных методологий с использованием естественнонаучных и математических методов. Здесь следует не совсем приятный для философов вывод, что используемый сегодня при описании мира «качественный» язык философии менее развит (исходя из целей описания множественности, изменчивости, сложности и системности объектов и явлений), нежели символический язык математики и количественные методы естественных наук. В целом можно утверждать, что в философии по сравнению с естественными науками нет даже признаков общепринятой парадигмы моделирования, а используемый философский понятийный аппарат в принципе не ориентирован на формализацию основных положений и категорий.

Математизация некоторых положений диалектики позволила бы существенно повлиять на общий процесс конвергенции наук. Если аксиоматический метод в математике и метод принципов в физике являются частными методами, то само понятие «принципы науки», на которые претендует диалектика, носит общенаучный смысл. История развития естественных наук свидетельствует, что эмпирические знания можно объединить в логически стройную систему, если установить основополагающие принципы, играющие роль оснований той или иной науки и позволяющие провести математическую формализацию основных положений. В диалектике такими принципами могут выступать темпоральность процессов и явлений в природе и обществе (принцип развития в диалектике), органическое единство качественной и количественной определенности объектов и явлений, а также взаимосвязь статистических и динамических закономерностей, свойственных реальному миру (принцип всеобщей взаимосвязи).

Дальнейшее совершенствование принципов диалектического метода в направлении формализации основных понятий и положений сильно зависит от уровня развития естествознания. В связи с тем, что все естественные науки в своем содержании опираются на анализ и обобщение опытных данных, то возникает основной проблемный вопрос: можно ли применить общую структурно-логическую схему модельного описания данных, характеризующих системы различной природы, для построения теорий в предметных областях? При решении этого вопроса сливаются воедино методы математики, физики, теории систем и информатики по отношению к объектам реального мира, суть диалектического существования которых определена изменениями во времени.

В данной работе онтологический акцент делается на диалектику, так как ее развитие может оказать существенное влияние на нынешнее положение философии. Данная наука утрачивает свои позиции научно-рационалистического мировоззрения и атеизма, подпадая под влияние теологии и богословия. По словам Г. Гегеля и К. Маркса, философия – это квинтэссенция культуры и всех достижений человечества, поэтому одна из задач естественных наук, которые, по большому счету, были рождены натурфилософией, связана с поддержкой этой наиболее близкой по естественнонаучной логике гуманитарной науки.

Формализация понятий и принципы моделирования

Реальный мир изменчив, сложен и множественен, однако един в своей природе. Для моделирования наблюдаемых процессов и явлений реального мира необходимо уметь количественно измерять как свойства объектов, так и их качества.

Множество объектов одного класса может характеризоваться в определенный момент времени оценкой свойств и качеств каждого наблюдаемого объекта по отношению к аналогичным величинам, наблюдаемым у объекта, который условно принят за опорный (эталонный) объект. Аналогичным образом изменчивость может характеризоваться оценкой состояний объектов по отношению к состоянию опорного объекта, которое в прошлом наблюдалось в определенно заданный момент времени. В свою очередь, характеристика сложности объектов должна даваться по отношению ко всему классу изучаемых объектов путем сравнения их атрибутивных характеристик с аналогичными характеристиками некоторого класса объектов, принятого за эталонный.

В каждом вышеуказанном случае необходимо уметь создавать измерительные шкалы для количественной характеристики как отдельных свойств объектов, так и их совокупностей, так как в основу всех наблюдений и экспериментов положен естественнонаучный метод измерений. При

Аверин Г.В.
Донецкий национальный технический университет

этом вопрос измерения или оценки качественной определенности объектов достаточно сложен и малоизучен. Однако, в любом случае процесс оценки качеств объектов, как и их свойств, относителен. В процессе измерений изучаемые объекты должны быть формализованы и идеализированы, т.к. при моделировании приходится создавать абстрактные объекты, прообразы которых имеются в реальном мире.

Формальные естественнонаучные абстракции носят довольно общий характер. Математика, например, «не требует» опытного подтверждения основных положений, достаточно использования логических или аксиоматических обоснований. Именно поэтому, Г. Кантор отмечал, что сущность математики заключается в ее свободе. Физика, в свою очередь, «требует» прямого или косвенного экспериментального обоснования используемых физических принципов.

С диалектикой все обстоит значительно сложнее. Хотя абстракции диалектики носят общесистемный характер, тем не менее, они отражают объективную реальность и должны обобщать эмпирические факты, но по отношению к множеству объектов и явлений различной природы. В этом плане категории и принципы диалектики методологически близки к положениям физики. Однако, в отличие от физики, предмет диалектики охватывает все объекты реального мира. Поэтому соотношение теоретического и эмпирического знания в этой науке, по большому счету, требует выведения из опыта универсальных принципов, которые будут справедливы для различных областей знаний. Как следствие, формализация понятий должна затрагивать объекты и явления реального мира в целом, на основе идеи поиска инвариантов, которые безотносительны к некоторым преобразованиям. Как отмечал М. Борн, идея инвариантов является ключом к рациональному пониманию реальности, и не только в физике, но и в каждом аспекте мира, при этом сущность инвариантности состоит в сохранении любого рода объектов по отношению к различным типам изменений [16].

Идея данного исследования связана с представлением массивов эмпирических данных в многомерных фазовых пространствах состояний сложных систем относительно переменных состояния, а также с использованием инвариантов в виде различных эмпирических мер для описания состояний объектов и построения математических моделей. При этом исходим из положения, что логическая природа объектов будет однозначно отражаться в наблюдаемых непрерывных или дискретных реализациях их состояний во времени.

Одной из основных философских категорий является понятие объекта – вещь, процесс или явление, на которые направлена практическая и познавательная деятельность субъекта. В данном исследовании в качестве материального *объекта* будем рассматривать элементы или части реального мира (физические, биологические, социальные и т.д.), которые выделяются и воспринимаются как единое целое в течение длительного времени и которым свойственно многообразие форм материальных движений. Под материальным движением подразумеваем любое наблюдаемое изменение или взаимодействие объектов, при этом суть любых движений выражается в изменении состояний объектов во времени.

Каждый объект обладает определенным набором свойств, которые носят количественный характер. *Свойство* – объективная и атрибутивная характеристика, которая отражает некоторый существенный и неотъемлемый признак или отличительную особенность объекта. *Параметр* свойства – количественная величина, характеризующая свойство объекта и имеющая численное значение. Совокупность свойств формирует количественную определенность объекта.

Класс объектов – множество однотипных объектов, обладающих общими свойствами и качественными признаками. На формализованном уровне под этим будем понимать обобщенное (абстрактное) описание множества однотипных объектов, для которых имеются данные наблюдений о их поведении во времени: физико-химические, технические, астрофизические и геологические объекты, биологические организмы, особи и популяции, исторические и палеонтологические объекты, страны, регионы и города, социальные и производственные объекты и т.д. При этом отдельные объекты являются конкретными представителями своего класса, которые, также как и в информатике, будем называть *экземплярами* класса.

Известно, что каждый объект отличается бесчисленным количеством свойств, единство которых определяет его качество. Однако, в процессе моделирования образ объекта задаётся на конечном множестве отобранных для наблюдения свойств.

Понятия качество, количество и мера присущи как естественным, так и гуманитарным наукам и играют в диалектике фундаментальную роль. Однако, если исходить из общесистемных понятий, которые могут быть формализованы, то данные категории не имеют общепринятых определений. Философская логика не обеспечивает пока адекватного и формализованного понимания и представления качеств, несмотря на то, что основные особенности объектов определяются их качественными признаками.

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

В диалектике определение «качество» есть то, что характеризует данный предмет как таковой, что отличает один предмет от другого. Это определение ни о чем конкретно не говорит и опирается на чувственное, а не на аналитическое восприятие мира. Считается, что качество не сводится к отдельным свойствам, а связано с предметом как целым. Часто качество определяют как совокупность существенных свойств (органическое единство), но при этом оговаривают, что, как считал Гегель, не следует качество однозначно связывать со свойствами, сводя его к простой совокупности свойств.

В монографии [14, с. 122] отмечается, что сущность предмета – это некоторое множество инвариантных для данного предмета элементов, сохраняющих свои характеристики при количественных преобразованиях, однако, что это могут быть за элементы особо не оговаривается. То, что предмет (объект) существует как целое, наблюдаем и подвержен изменениям на протяжении длительного времени, скорее всего, и является содержанием качественного образа предмета. При одной и той же сущности предметы и явления могут обладать различными качествами и свойствами, при этом они могут входить или не входить в один и тот же класс объектов. Поэтому качество будем связывать с видовыми, типовыми, образными отличиями. Диалектические категории должны формулироваться таким образом, чтобы они были пригодны как для качественных, так и формализованных описаний объектов, процессов и явлений. Исходя из этого, дадим следующее определение.

Качество объекта – категория, выражающая сущность объектов и в определенном аспекте отражающая совокупность атрибутивных (существенных) признаков, особенностей и свойств, которые отличают один класс объектов от других и придают данному классу и экземплярам класса качественную определённость.

К понятию «атрибутивные» будем относить существенные (значимые) в наблюдаемых условиях величины, которые при моделировании наиболее полно отражают изменения состояний объекта и могут нести определенное знание по отношению к предметному содержанию изучаемого объекта.

Будем предполагать, что оценка качеств относительна, однако в основу такой оценки должны быть положены величины, связи или отношения, инвариантные при преобразованиях параметров свойств объектов и времени.

Используя основные принципы моделирования, предполагаем, что качественная определенность объекта в некотором аспекте качественных признаков (или совокупности свойств) может быть количественно оценена. Оценки качества будем производить на основе использования *комплексных* (интегральных) величин, которые будут характеризовать объект как целое, исходя из системных представлений.

Приведенное выше позволяет в общем случае представить *состояние* объекта в виде совокупности его качественных и количественных характеристик, которые формируются под действием внешних и внутренних условий в конкретный момент времени.

Такой подход при моделировании дает возможность считать, что первой основой для характеристики состояния является количественная определенность объекта, связанная с его свойствами. Совокупность свойств определяет количественную сторону через параметры состояния объекта, которые могут быть измерены. Второй основой для характеристики состояния является качественная определенность объекта, которая количественно может быть оценена с использованием системных величин, комплексно характеризующих изучаемые объекты в целом по отношению ко всему классу объектов, или отдельным экземплярам класса, которые приняты в качестве эталонных для данного класса.

Органическое единство качественной и количественной определенности объекта будем выражать через меру. Сегодня в философии понятие меры определено на вербальном уровне. В соответствии с существующим определением мера – это философская категория, отражающая единство качественных и количественных характеристик предмета или явления. Очень часто мера трактуется как диапазон или область количественных изменений, которые могут происходить при сохранении данного качества объекта. Исходя только из данных определений, формализовать понятие меры невозможно. Поэтому в дальнейшем введем понятие меры как математическую функцию, выражающую единство качественной и количественной определенности по отношению к некоторому классу объектов, которая отличалась бы особым свойством в пространстве состояний объектов, например, континуальностью, аддитивностью и т.д. Другими словами, меру будем рассматривать как некую функцию, характеризующую пространство состояний или поле состояний для определенного класса объектов.

Исходя из вышеприведенного, предметом моделирования в диалектике будут являться все факты изменения во времени состояний реальных объектов, которые представляют собой закономерный результат различных видов взаимодействий в природе и обществе. При этом органическое единство совокупности качественных и количественных характеристик объектов, которое с течением времени проявляется в наблюдаемых изменениях их состояний, и будет являться основным логическим принципом для развития методов и приемов математического моделирования.

Отсюда следует основная цель применения теории моделирования в диалектике, которая заключается в определении общесистемных связей между предшествующими, текущими и последующими состояниями объектов различных классов с учетом единства качественных и количественных характеристик объектов. Математически описать данную задачу можно путем установления соответствия между статистическими и динамическими закономерностями, которые свойственны объектам и системам различной природы при изменении их состояний во времени. Рассмотрим эти закономерности несколько подробнее.

Сегодня детерминизм представляет собой учение о всеобщей и закономерной связи процессов и явлений в окружающем мире. Индетерминизм исходит из отсутствия какой-либо связи между явлениями во времени. Оба принципа дают противоположные точки зрения на темпоральный характер взаимосвязи событий, процессов и явлений. С прогрессом науки детерминизм становится все более распространенной парадигмой. Ганс Рейхенбах утверждал, что прошлое детерминировано, а будущее не детерминировано, случайно [17]. Противоположной позиции объективной природы наблюдаемых случайных явлений придерживался А. Пуанкаре. Однако, если считать, что прошлое детерминировано, то существующие эмпирические данные (по крайней мере количественные темпоральные данные) могут быть однозначно описаны математическими моделями. В свою очередь, любые данные наблюдений имеют определенные погрешности измерений и оценок, а используемые модели обладают некоторой степенью неопределенности из-за ограниченности наших знаний и т.д. Поэтому данные наблюдений из прошлого тоже могут нести в себе некоторые элементы случайности.

В этом плане всеобщая связь явлений не может быть выражена простыми случаями и крайностями, должно наблюдаться органическое единство этих противоположных точек зрения.

В данном вопросе много неясностей и крайностей даже на уровне философских воззрений, не говоря уже об уровне модельных описаний, где следует применять ясные и понятные методологические принципы. Однако, так как все изменения, наблюдаемые в объектах окружающего мира, познаются во времени, то понимание сущности случайности и предопределенности, статистической и динамической закономерности лежит в раскрытии феномена времени, а это одна из основных нерешенных проблем науки.

В процессе исследования будем исходить из единства и взаимосвязи понятий предопределенности и случайности, детерминированных и вероятностных причинных связей, динамической и статистической закономерности явлений и процессов.

При изучении данной проблемы применительно к процессу моделирования исходим из принципа детерминизма в модельных описаниях. То, что детерминизм органично присущ методологии моделирования является признанным фактом – любая физическая, математическая или алгоритмическая модель с различной степенью достоверности описывает закономерные связи реальных процессов и явлений, в основе которых вполне могут лежать как детерминированные, так и вероятностные особенности. Использование стохастических методов дает возможность ввести элементы неопределенности и тем самым расширить область применения динамических моделей на некоторые классы случайных процессов. Проблема здесь в недостаточности данных и знаний о произошедших процессах и явлениях, а также в ряде случаев в невысокой эффективности используемых для описания моделей. Однако при детерминированном подходе модель любой степени формализации обычно с определенной точностью описывает динамику некоторого закономерного процесса применительно к изучаемому объекту или классу объектов.

В свою очередь, в окружающем нас мире в процессе познания и при отображении всего многообразия явлений не может быть крайностей, закономерные связи во времени могут формироваться исходя из существования как детерминированных, так и вероятностных особенностей, что определяется эмпирическими данными. Поэтому, на основе данных опыта, по аналогии с утверждениями М. Каца и Э. Нельсона [18, 19], любое развитие реального природного или общественного процесса во времени будем считать стохастическим процессом.

Все описанное выше позволяет рассматривать во взаимосвязи оба принципа, которые определяют характер процессов и явлений во времени. Далее с детерминизмом будем связывать модельные описания наблюдаемых процессов и явлений, а со стохастическими (случайными) процессами – любые данные и факты эмпирических наблюдений о процессах в реальном мире.

В философии при изучении объектов и систем выделяют также два типа проявления причинной связи, связанных с динамическими (однозначными) и статистическими (вероятностными) закономерностями. Согласно известным определениям динамическая и

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

статистическая закономерности – это формы проявления закономерной связи между предшествующими и последующими состояниями объектов при их изменениях во времени. Динамическая закономерность представляет собой форму причинной связи, при которой данное состояние объекта однозначно определяет все его последующие состояния. Статистическая закономерность – это форма причинной связи, при которой данное состояние объекта определяет все его последующие состояния не однозначно, а лишь с определенной вероятностью, являющейся объективной мерой возможности реализации заложенных в прошлом тенденций изменения и развития. Так как в основе факта установления динамической или статистической закономерности всегда лежит опыт и практика, то различие между этими закономерностями относительно.

Многие известные ученые новую концептуальную парадигму в развитии современной науки видят в синтезе динамических и статистических закономерностей объективной реальности.

Исходя из вышеприведенного, в данной работе под *статистической* закономерностью будем понимать любую устойчивую тенденцию в изменении состояний реальных объектов, которая установлена на основе эмпирических данных. В свою очередь, под *динамической* закономерностью будем понимать приближенное описание тенденций изменения состояний, представленное в виде зависимостей с помощью некой детерминированной среды моделирования.

Установление связи между статистической и динамической закономерностями в каждом конкретном случае будем основывать на применении феноменологического метода, позволяющего адаптировать модельные описания процессов и явлений по отношению к данным эмпирических наблюдений.

Теперь примем следующие предположения. Будем считать, что изменение количественной определенности реального объекта во времени характеризуется статистическими закономерностями изменения параметров его свойств. В свою очередь, изменение качественной определенности объекта во времени также вызвано статистическими закономерностями его развития, и определяется взаимосвязью всех его процессов и отношений. При этом для описания взаимосвязи качественной и количественной определенности необходима детерминированная среда моделирования. Подобный подход позволяет провести формализацию сформулированных ранее определений и понятий.

Будем изучать множество объектов одного класса, каждый из которых в определенный момент времени находится в некотором состоянии, исходя из сложившихся внешних и внутренних условий. Информацию о состояниях объектов несут в себе имеющиеся данные эмпирических наблюдений. Предположим, что каждое состояние объекта однозначно определено значениями всех его параметров z_k (в общем случае n). Данные атрибутивные и независимые параметры свойств однозначно характеризуют количественную определенность каждого объекта.

Будем рассматривать данные наблюдений темпоральной структуры. В этом случае речь идет о массивах дискретных данных, которые имеют общую структуру таблиц в виде «объекты – параметры свойств», причем соответствующее количество таблиц h упорядочено во времени с шагом, равным некоторому временному диапазону [20–22]. В частном случае такие данные могут иметь только одну таблицу (рис. 1, $h=1$), это возможно, когда параметры свойств объектов не изменяются на длительных промежутках времени.

Темпоральные базы данных – это массивы данных, хранящие временные данные. В широком смысле – это произвольные данные, которые явно или неявно связаны с определенными датами или промежутками времени. Особенность таких данных в том, что они несут в себе информацию о любых процессах, происходящих в природе и обществе. Ганс Рейхенбах считал, что наше знание о прошлом основывается на протоколах. Под такими протоколами подразумеваются любые документы о прошедших событиях, различная информация и данные о функционировании и поведении объектов и систем в прошлом и настоящем, собранные летописи, описания и базы данных, отражающие наше знание об окружающем мире. Исходя из этого темпоральные данные, как особый вид структурированных количественных протоколов прошлого и настоящего, могут быть описаны с необходимой точностью математическими моделями.

В темпоральных массивах данных в качестве объектов выступают однотипные классы (сущности), соответствующие объектам определенной природы. В качестве параметров (атрибутов), выступают свойства в виде различных физико-химических, биологических, социальных или других величин, имеющих количественное измерение (рис. 1). При этом для каждого процесса изменения состояния объекта характерны определенные последовательности состояний с заданными параметрами свойств, изменяющимися во времени.

Аверин Г.В.
Донецкий национальный технический университет

Все опытные факты о процессах и явлениях в неживой и живой природе связаны с их представлением именно в виде темпоральных данных. В таких данных время выступает системообразующим фактором по отношению к изменению и развитию объектов различной природы.

Перед нами стоит цель сформулировать методические принципы обработки и анализа темпоральных массивов опытных данных для получения количественных закономерностей, которые бы имели общий характер и не были бы явно привязаны к той или иной области знаний. Ранее такие принципы были отработаны для физических, биологических и социально-экономических систем [20–27], исходя из представлений, что существует связь между статистическими и динамическими закономерностями и эмпирические наблюдения могут быть всегда структурированы в темпоральных базах данных.

Для темпоральных данных можно построить общую среду моделирования в виде многомерного пространства состояний объектов (так называемого фазового пространства). Предположим, что для *m* объектов одного класса в темпоральных массивах данных содержится количественная информация о *n* параметрах z_k ($k=1, 2,\ldots, n$), характеризующих свойства изучаемых объектов (рис. 1). Примем эти величины в качестве переменных состояния.

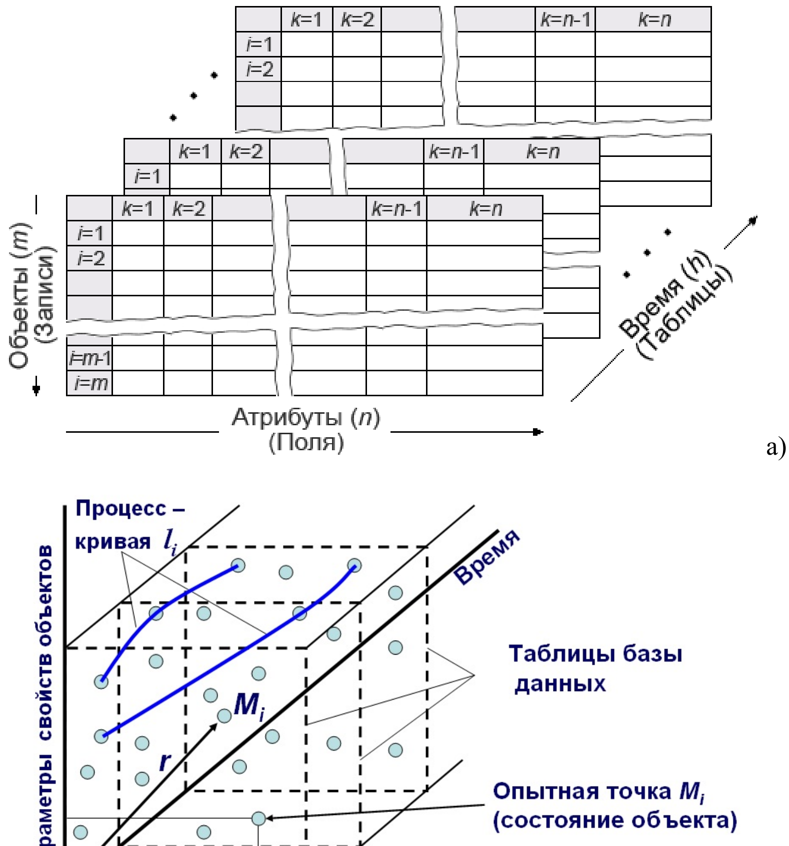


Рисунок 1. – Темпоральные массивы данных, характеризующие изменения состояний объектов:
а) структура темпоральных массивов данных; б) пространство состояний объектов
Рисунок взят из источника [23]

Множество *n* переменных для параметров свойств задает *n*-мерное пространство состояний E^n, где $z=(z_1, z_2, \ldots, z_n)$, $z \in E^n$. Точки этого пространства соответствуют *n*-мерным наборам значений всех переменных z_1, $z_2, \ldots, z_n$. Будем рассматривать пространство E^n как непрерывную совокупность состояний объектов, которые являются точками этого фазового пространства.

Примем гипотезу о существовании *эмпирической меры W*, которая представляет собой величину, характеризующую в целом состояния объектов, исходя из интегральной оценки качественной определенности объектов. Мера *W* находится в опыте путем измерений и оценок и представляет собой системную величину, например, эмпирическую температуру, статистическую вероятность событий,

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

характеризующих качественные эффекты и последствия, экспертный комплексный показатель, геометрическую величину, определяющую положение объекта в пространстве состояний, и т.д. Эта величина однозначно оценивает качественное состояние объектов в определенном аспекте, зависит от параметров свойств объектов $z_1, z_2, \ldots, z_n$ и не может быть одним из этих параметров. Математически эмпирическую меру будем рассматривать как особую функцию переменных состояния – функцию, зависящую от нескольких независимых параметров, которые вместе с ней однозначно определяют состояние объектов. Эмпирическая мера является функцией точки, однако не является функцией состояния в своем классическом понимании, так как она не есть аддитивная величина, для которой функция состояния целого (системы) равна сумме функций состояния ее частей. Исходя из этого, будем считать эмпирическую меру особой функцией, заданной в пространстве состояний, подчеркивая тем самым ее эмпирическое содержание. Некоторые особые свойства эмпирической меры опишем чуть далее.

Подобный подход позволяет нам использовать основополагающее понятие математического анализа – понятие функции, и представить эмпирическую меру в виде функции многих переменных. Поэтому, формализуя данный подход в терминах математического анализа, сформулируем представление эмпирической меры в виде функции по отношению к пространству состояний E^n.

Пусть рассматривается множество упорядоченных систем чисел ($z_1, z_2, \ldots, z_n$), которые являются значениями параметров свойств для экземпляров некоторого класса объектов. Если в силу некого эмпирического закона, правила или процедуры измерений каждой системе чисел ($z_1, z_2, \ldots, z_n$) приведено в соответствие число W, то будем считать, что в пространстве E^n определена эмпирическая мера состояния $W=W(z_1, z_2, \ldots, z_n)$ как функция n переменных.

Далее предположим также, что при совершении во времени некого процесса l параметры свойств для произвольного объекта всегда представимы параметрическими уравнениями относительно времени τ:

$$z_1 = z_1(\tau),\ \ z_2 = z_2(\tau),\ \ldots,\ z_n = z_n(\tau). \qquad (1)$$

Исходя из этого, будем рассматривать только те классы объектов, для которых возможны процессы, отличающиеся существованием и непрерывностью функций (1). Непрерывную кривую в n-мерном пространстве состояний (рис. 1, l_i), образованную уравнениями (1), будем называть линией процесса (физического, биологического, социального и т.д.) для конкретного объекта. Логически можно предположить, что если объект реально существует и не подвержен дискретным (скачкообразным) изменениям, то возможно параметрическое представление изменения его параметров во времени вида (1).

Таким образом, исходная задача общесистемного моделирования применительно к состояниям объектов может быть сформулирована в следующем виде.

Имеются результаты опыта или наблюдения в виде темпоральных данных, относящихся к некоторому множеству однотипных объектов определенной природы. Формируется фазовое пространство состояний E^n относительно параметров свойств объектов. Предлагается некая эмпирическая мера $W = W(M)$ для сравнения состояний объектов и процессов, совершаемых объектами, где M – произвольное состояние. В пространстве E^n представлены данные опыта или наблюдений в виде дискретных точек M_i. Априори предлагается математическая модель пространства состояний E^n в виде задания некой среды моделирования. Применяя различные принципы и гипотезы, характеризующие функционирование или поведение объектов во времени, следует построить феноменологическую модель для описания состояний объектов в пространстве E^n, которая будет характеризовать эмпирические закономерности, присущие данным опыта или наблюдений.

Основные гипотезы, которые могут быть использованы при описании состояний объектов, связаны принципами общесистемного характера. В качестве таких положений будем использовать принцип континуальности фазового пространства состояний объектов, принцип инвариантности эмпирических мер, а также принцип соответственных состояний, заключающийся в наличии измеряемого сходства в состояниях объектов.

Пусть в n-мерном фазовом пространстве E^n расположено $q = m \cdot h$ дискретных точек M_i $(i = 1, 2, \ldots, q)$, которые являются опытными данными. Представим эти точки как ограниченную выборку из сплошной гипотетической среды бесконечного количества состояний для объектов одного класса. Используем континуальный принцип представления информации в пространстве E^n [20–22], согласно которому поле состояний считается непрерывным, при этом каждый элемент поля связан со всеми соседними элементами с учетом закономерностей, свойственных пространству состояний E^n. Тем

Аверин Г.В.
Донецкий национальный технический университет

самым используется концепция континуального поля некоторой величины, которая характеризует состояния объектов в целом. Такой величиной и будет выступать эмпирическая мера.

Считаем также, что по отношению к наблюдениям справедлив принцип инвариантности, когда в пространстве состояний дискретные данные формируют некий «образ», отражающий в какой-то степени сущность континуальных закономерностей полевой величины. При этом инвариантность образа будет связана с изометрией пространства E^n, когда сохраняются расстояния между опытными точками M_i, измеренные или оцененные определенным образом.

Далее, пусть каждой точке M_i поставлена в соответствие эмпирическая мера, которая обладает свойством неизменности по отношению к преобразованиям переменных $z_1, z_2, \ldots, z_n$. Определим данную полевую величину как эмпирическую меру состояний объектов в виде функции нескольких переменных $W=W(M)$. При этом отметим, что эмпирических мер, характеризующих различные качественные аспекты при описании состояний объектов, может быть несколько.

При такой постановке вопроса по отношению ко всему классу объектов эмпирическая мера в своей сущности будет нести эмпирическое содержание (статистическая закономерность), которое, как мы предполагаем, может быть описано с помощью среды моделирования с заданными общими детерминированными свойствами (динамическая закономерность).

В процессе моделирования будем рассматривать квазистационарные и нестационарные процессы, используя при этом известные определения. Для квазистационарного процесса наложим условие существования функциональной зависимости эмпирической меры от параметров свойств в виде:

$$W(\tau)=W(z_1(\tau), z_2(\tau), \ldots, z_n(\tau)), \qquad (2)$$

в свою очередь, для нестационарного процесса соответственно в виде:

$$W(\tau)=W(\tau, z_1(\tau), z_2(\tau), \ldots, z_n(\tau)). \qquad (3)$$

Таким образом, мы считаем, что любое изменение состояния объекта во времени как единого целого связано с изменением параметров z_k и некими системными характеристиками вида (2)–(3), которые свойственны совокупному процессу изменения его состояния. Подобные характеристики в виде эмпирических мер определяются на основе данных опыта (наблюдения). Любое изменение отдельного свойства объекта в любом процессе изменения состояния также оценивается на основе опыта, однако может быть выделено отдельно и представлено в виде более простой зависимости (1). Этим мы предполагаем существование как функций одной переменной, так и функций многих переменных, которые могут при моделировании характеризовать состояние объекта и его изменение.

В данном исследовании более подробно будем рассматривать процессы эволюционного развития объектов во времени, подразумевая под этим относительно медленные изменения в состояниях объектов, которые будут описываться зависимостями вида (2).

Введем понятие квазистационарной многокомпонентной функции состояния, которая будет связана с существованием нескольких эмпирических мер.

Пусть в пространстве состояний E^n задано множество Z упорядоченных систем чисел $(z_1, z_2, \ldots, z_n)$ для n параметров z_k, представленных числовыми значениями величин. При этом каждому k-тому свойству соответствует один вполне определенный параметр z_k, который является параметрической функцией времени τ в любом процессе его изменения.

Предположим также, что задано множество W упорядоченных систем чисел $(w_1, w_2, \ldots, w_p)$ из p эмпирических мер, являющихся количественными оценками состояний объектов по каждому j-тому качественному признаку. При этом всякому качественному признаку соответствует одна вполне определенная оценка эмпирической меры w_j, которая является результатом опыта и зависит от времени.

Если, в силу некого эмпирического закона, правила или процедуры измерений, каждому элементу из множества Z приведен в соответствие элемент из множества W, то будем считать, что в пространстве E^n в виде совокупности эмпирических мер определена многокомпонентная функция состояния по p качественным признакам вида:

$$\begin{cases} w_1(\tau)=W_1(z_1(\tau), z_2(\tau), \ldots, z_n(\tau)) \\ \ldots\ldots\ldots\ \ldots\ldots\ldots\ \ldots\ldots\ldots\ \ldots\ldots\ldots\ \ldots\ldots\ldots\ \ldots \\ w_j(\tau)=W_j(z_1(\tau), z_2(\tau), \ldots, z_n(\tau)) \\ \ldots\ldots\ldots\ \ldots\ldots\ldots\ \ldots\ldots\ldots\ \ldots\ldots\ldots\ \ldots\ldots\ldots\ \ldots \\ w_p(\tau)=W_p(z_1(\tau), z_2(\tau), \ldots, z_n(\tau)). \end{cases} \qquad (4)$$

Далее предположим, что функции W_j непрерывны и дифференцируемы. В частном случае, когда существует одна эмпирическая мера (оценен один компонент, $j=1$), функция состояния представляется в виде одной действительной функции многих переменных вида (2). Для нестационарных процессов функции W_j в системе уравнений (4) будут зависеть от времени, в соответствии с (3).

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

В общем случае функция состояния (4) представляет собой систему функций, зависящих только от одной независимой переменной – параметра времени τ . Именно время накладывает определенные ограничения по изменению состояний объектов в пространстве свойств. При этом величина времени τ определяется согласно общепринятой системы измерения времени.

Исходя из всего вышеприведенного, при графическом представлении состояния объектов будут изображаться точками многомерного пространства E^n, а процессы изменения состояния – линиями этого пространства. Отметим, что в рамках общей формулировки математической задачи мы можем предполагать равновозможную реализацию процессов в окрестности произвольного состояния *M*. Однако, при наложении на функционирование или поведение объектов ограничений, связанных с учетом особенностей данных, состояния и процессы их изменения уже не будут обладать свойством равновозможной реализации.

Таким образом, при моделировании множества состояний для некого класса объектов может быть построена формализованная среда моделирования, обладающая заданными свойствами и позволяющая описать континуальные закономерности в виде математических зависимостей. Подобная среда моделирования представляется в виде n-мерного пространства параметров свойств E^n .

Важным положением при моделировании процессов различной природы является также принцип соответственных состояний, который более подробно будет раскрыт ниже.

Далее, все приведенное ниже, будет относиться к каждой эмпирической мере в системе уравнений (4), поэтому соответствующие индексы при изложении материала опустим, а для величин w_j используем общее обозначение W.

Выбор эмпирических мер и моделей пространства состояний

Будем рассматривать метрические пространства и считаем, что способ определения расстояния между двумя произвольными состояниями известен и задан системой измерения эмпирической меры, как величины для оценки схожести состояний объектов.

Основная гипотеза моделирования связана с возможностью описания континуальных закономерностей путем установления связи между полевой величиной в виде эмпирической меры $W(M)$ и априори заданной моделью фазового пространства состояний в виде вещественно однозначной функции $T=T(z_1, z_2, ..., z_n)$.

Предполагается, что эмпирическая мера может быть описана скалярным полем $W=W(M)$, которое инвариантно при преобразованиях координат. Данная величина будет отражать эмпирические особенности и закономерности наблюдаемых состояний и процессов их изменения как геометрических образов (точек и кривых) в пространстве E^n , исходя из полевых представлений. Меру W следует определять на основе данных опыта, характеризующих положение точек поля M_i по отношению к характеристикам отдельных объектов или групппы объектов в целом, например, по измерению эмпирических или геометрических характеристик полевой величины, определению вероятностей состояний или наблюдения значимых событий и т.д.

В свою очередь, модель пространства состояний будет задана скалярной функцией, зависящей от переменных состояния. Данная величина будет отражать особенности фазового пространства как сплошной среды, исходя из той или иной принятой математической модели. В зависимости от специфики решаемой задачи ее будем представлять в виде простых зависимостей относительно всех n переменных. При этом функцию T следует определять по значениям переменных состояния по отношению к используемой системе координат.

Эмпирические меры состояний объектов. Из сказанного выше важным является выбор мер W как качественных характеристик состояний объектов или процессов изменения состояний, а также разработка систем количественного определения этих величин. Эмпирическая мера должна быть инвариантом в пространстве состояний и комплексно характеризовать состояния объектов, а также их изменения, соответствовать понятию скалярных величин, иметь область определения от нуля до $+\infty$ или от $-\infty$ до $+\infty$, давать возможность оценивать состояния и процессы изменения состояний на основе принятой системы измерений применительно ко всему фазовому пространству E^n. Данная полевая величина будет непосредственно связана с особенностями распределения опытных данных, т.к. определяется по отношению к опорному состоянию или всей группе дискретных точек M_i в целом и не зависит от принятой системы координат для переменных состояния.

Для сравнения состояний объектов между собой могут быть использованы следующие эмпирические меры.

1) Геометрические величины:

- евклидово расстояние

$$W = \sqrt{\left(z_1 - z_{1_0}\right)^2 + ... + \left(z_n - z_{n_0}\right)^2} \; ; \qquad (5)$$

- манхэттенское расстояние

Аверин Г.В.
Донецкий национальный технический университет

$$W = \left|z_1 - z_{1_0}\right| + .. + \left|z_n - z_{n_0}\right|; \qquad (6)$$

- степенное расстояние

$$W = \sqrt[\beta]{\left(z_1 - z_{1_0}\right)^{\alpha} + ... + \left(z_n - z_{n_0}\right)^{\alpha}}; \qquad (7)$$

- экспертное расстояние

$$W = \alpha_1 \frac{z_1 - z_{1\min}}{z_{1\max} - z_{1\min}} + ... + \alpha_n \frac{z_n - z_{n\min}}{z_{n\max} - z_{n\min}}, \qquad (8)$$

где z_{k_0} – значения параметров опорного состояния; $z_{k\max}$, $z_{k\min}$ – максимальные и минимальные значения параметров свойств; α_k – весовые коэффициенты; $(k = 1, 2, ..., n)$.

2) Эмпирические величины:

- стоимость объекта;
- температура объекта;
- количество теплоты;
- энергия объекта;
- физические потенциалы и т.д.

Указанные величины для опорного состояния принимаются постоянными.

3) Вероятностные величины:

- статистическая вероятность наблюдения состояния объекта в определенном объеме фазового пространства E^n при группировке данных, исходя из заданного количества диапазонов группирования;
- относительная частота наблюдения состояний всех объектов в определенном объеме пространства E^n, образованного состоянием каждого объекта (точка M_i, представленная в виде правой верхней вершины многомерного параллелепипеда);
- статистическая вероятность событий, отражающих состояние объектов в некоторых аспектах и т.д.

При использовании вероятностных величин эмпирическая мера получается путем отображения значений вероятности $(0 \le w \le 1)$ на интервал от нуля до $+\infty$ или от $-\infty$ до $+\infty$ с помощью применения логарифмической функции $W = -\ln(w)$, пробит-функции вероятности $W = \Pr(w)$ и т.п.

4) Групповые (кластерные) меры:

- мера попарного среднего, когда каждой точке M_i ставится в соответствие среднее расстояние между данной точкой и всеми остальными опытными точками, как с учетом, так и без учета веса каждой точки;
- центроидная мера, когда каждой точке M_i ставится в соответствие расстояние между данной точкой и центром тяжести для всего массива опытных точек, как с учетом, так и без учета веса каждой точки и т.д.

5) Алгоритмические меры:

- алгоритмические меры сходства между объектом и классом (например, расстояние Махаланобиса и др.);
- меры схожести, полученные на основе применения методов регрессионного анализа, искусственных нейронных сетей, алгоритмов МГУА, позволяющих построить системы измерения эмпирических мер;
- меры схожести объектов, основанные на математических методах обработки экспертной информации и т.д.

Обычно определение вероятностных величин, кластерных мер и мер, использующих интеллектуальный анализ данных, основывается на применении различных вычислительных алгоритмов [20, 21, 28].

Модели пространства состояний.

Модель фазового пространства состояний будет связана с переменными состояния $z_1, z_2, ..., z_n$ и должна быть задана относительно простыми функциями, зависящими от этих переменных, как координат пространства E^n. Модель пространства E^n в зависимости от специфики решаемой задачи будем представлять в виде непрерывных функций относительно всех n переменных мультипликативными, аддитивными, степенными, однородными или иными зависимостями. В этом случае в качестве модели могут быть использованы различные скалярные функции в виде:

- меры относительных изменений

$$T = \frac{z_1 z_2 ... z_n}{z_{1_0} z_{2_0} ... z_{n_0}}; \qquad (9)$$

- степенной меры относительных изменений

$$T = \alpha \left(\frac{z_1}{z_{1_0}}\right)^{\alpha_1} \left(\frac{z_2}{z_{2_0}}\right)^{\alpha_2} ... \left(\frac{z_n}{z_{n_0}}\right)^{\alpha_n}; \qquad (10)$$

- простого евклидового расстояния или квадрата этого расстояния

$$T = \sqrt{z_1^2 + z_2^2 + ... + z_n^2}; \qquad (11)$$

$$T = z_1^2 + z_2^2 + ... + z_n^2; \qquad (12)$$

- простой или взвешенной суммы

$$T = z_1 + z_2 + ... + z_n; \qquad (13)$$

$$T = \alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + ... + \alpha_n z_n; \qquad (14)$$

- других простых геометрических мер, отвечающих специфике решаемой задачи.

При использовании вероятностных эмпирических мер модель пространства состояний может быть представлена, например, в виде геометрической вероятности:

$$T = \frac{z_1 \cdot z_2 \cdot ... \cdot z_n}{z_{1\max} \cdot z_{2\max} \cdot ... \cdot z_{n\max}} \qquad (15)$$

или меры относительных изменений (9).

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

В данной работе рассматриваются скалярные функции *T*, входящие в класс мультипликативных или однородных функций. Выбор той или иной эмпирической меры и скалярной функции определяется спецификой решения конкретной задачи и качеством получаемых уравнений связи, исходя из проведенной обработки данных.

Далее покажем, что во многих случаях решения системных задач на основе опытных данных можно установить однозначную связь между эмпирическими мерами *W* и принятыми функциями *T*.

Оценка качеств объектов и построение измерительных шкал

Важной задачей является построение измерительных шкал для оценки качеств объектов, исходя из возможности применения различных эмпирических мер. В основу этого может быть положен термодинамический метод, использующий феноменологический подход и отличающийся применением естественно-научных принципов по отношению к системному описанию состояний объектов.

Среди таких принципов следует выделить принцип соответственных состояний, согласно которому состояния объектов могут подчиняться одному уравнению, если это уравнение выразить через некоторые приведённые переменные. Это позволяет установить определенный изоморфизм по отношению к состояниям объектов одного класса.

При моделировании необходим также принцип, отражающий определенное сходство по отношению к процессам, которые совершают изучаемые объекты. В качестве такого закона можно принять принцип подобия, согласно которому все процессы, протекающие в подобных объектах, обладают одной и той же природой и описываются одинаковыми уравнениями. Очень часто при сравнении состояний и процессов для объектов одного класса сохраняется (или может измеряться) отношение между некоторыми наблюдаемыми величинами.

По аналогии с термодинамикой, будем использовать взаимосвязь статистических и динамических закономерностей при совершении любого процесса l в окрестности произвольного состояния M, предполагая справедливость соотношений вида $dW = c_l dT$, где W – эмпирическая мера, принятая для оценки качеств; T – скалярная функция, заданная в качестве модели пространства состояний; c_l – феноменологическая величина, которую будем называть темпоральностью процесса l. Данное соотношение определяет связь между приращениями величин и, в определенной степени, связано с понятием производной по направлению. Это позволяет сравнивать между собой процессы, которые совершаются объектами и оцениваются через изменения эмпирической меры, по отношению к изменениям функции *T*. В свою очередь, состояния объектов в каждой точке *M* можно сравнивать между собой по отношению к значениям эмпирической меры *W* и функции *T* в этой точке.

Указанные выше принципы используем при моделировании [20–27]. При этом особо отметим, что в данном исследовании применяем логику термодинамического метода без формального переноса имеющихся понятий и зависимостей в новую предметную область.

Принцип соответственных состояний широко используется при построении моделей объектов и систем. Количественные знания о свойствах различных объектов обычно представляются в форме уравнений состояний, где одни параметры выражаются через другие. Уравнения состояния строятся на основе опытных данных и отражают эмпирический опыт человечества в области изучения систем самой разной природы. Обычно такие уравнения состояния представляются в виде:

$$F\left(\frac{z_1}{z_{1_0}}, \frac{z_2}{z_{2_0}}, ..., \frac{z_n}{z_{n_0}}\right) = 0, \qquad (16)$$

где z_{k_0} – значения параметров опорного состояния для объектов одного класса.

В уравнении (16) параметры z_k, характеризующие свойства, совокупностью которых определяются состояния объектов, связаны друг с другом: с изменением одного из них изменяется, по крайней мере, еще одно. Для построения уравнений выбирается опорный объект или опорное состояние, и все остальные состояния соотносятся с выбранной точкой в пространстве E^n. В общем случае принцип соответственных состояний можно сформулировать в виде: для объектов одного класса может наблюдаться закономерность, когда состояния объектов связаны с некоторыми характерными состояниями одинаково. Справедливость принципа в каждом случае проверяется по имеющимся опытным данным.

Указанный принцип позволяет построить шкалу для относительного сравнения состояний объектов между собой по факту изменения значений эмпирической меры. Процедура построения таких шкал досконально проработана в термометрии [29–31]. Воспользуемся соответствующей логикой построения шкал для сравнения состояний объектов, исходя из представления фазовых пространств E^n в виде метрических пространств. Сущность метода заключается в выборе в пространстве E^n как опорного состояния, так и некоторого эталонного процесса. Это связано с тем, что при моделировании необходимо иметь возможность сравнивать между собой как состояния объектов, так и процессы, совершаемые этими объектами.

Известно, что расстояние между двумя состояниями, принадлежащими одной линии процесса, совершенного за время $\Delta\tau$, является инвариантом, так как геометрически его можно рассматривать как интервал между двумя точками. Поэтому, если задать в пространстве состояний E^n некий эталонный процесс между двумя опорными состояниями, то можно сравнивать между собой различные процессы, совершаемые объектами, относительно этого эталонного процесса. Для их сравнения может быть использован критерий в виде различных отношений для отрезков кривых процессов (или других величин), описываемых состояниями объектов за заданную единицу времени. Если этот критерий может быть определен по опытным данным, то можно говорить о возможности сравнения процессов в пространстве состояний E^n.

Исходя из этого, в начале построим шкалу для относительного сравнения состояний объектов [24–26]. Выберем некий линейный эталонный процесс (рис. 2), совершенный за время $\Delta\tau$, на котором отметим опорное состояние M_0.

Данный процесс может относиться непосредственно к наблюдаемому объекту, состояния которого меняются с течением времени, или к некоторому виртуальному процессу, соединяющему два особо выделенных состояния для различных периодов времени. В случае, если состояния объектов не изменяются с течением времени (частный случай темпорального массива данных с одной таблицей), это может быть просто отрезок между двумя выбранными опорными состояниями.

На эталонном процессе для четко заданного временного диапазона отмечаем второе опорное состояние M_0' и два указанных состояния соединяем прямой линией. Полученный отрезок делим на заданное количество одинаковых интервалов, например, 100, и устанавливаем длину полученных отрезков σ, исходя из известных значений эмпирической меры и параметров свойств в точках M_0 и M_0'.

Далее из начала координат проводим луч OM_0 и находим длину отрезка OM_0. Шкалу для измерений состояний объектов формируем в виде некоторого индекса θ применительно к лучу OM_0 с единицей измерения σ, при этом длина отрезка OM_0 в данной шкале измерений составит $\theta_0 = l_{OM_0} / \sigma$. Для определенности и формирования отличий от термодинамики назовем данный индекс θ менсурой (от лат. *mensura – мера*) и зададим соответствующую единицу измерения, например, в виде градуса менсуры °*M*, который геометрически будет равен длине σ. Теперь, проводя радиус-вектор $\vec{r}$ до каждой точки M и определяя его модуль $|\vec{r}|$, можно в полученной шкале измерить состояние M в градусах менсуры (рис. 2).

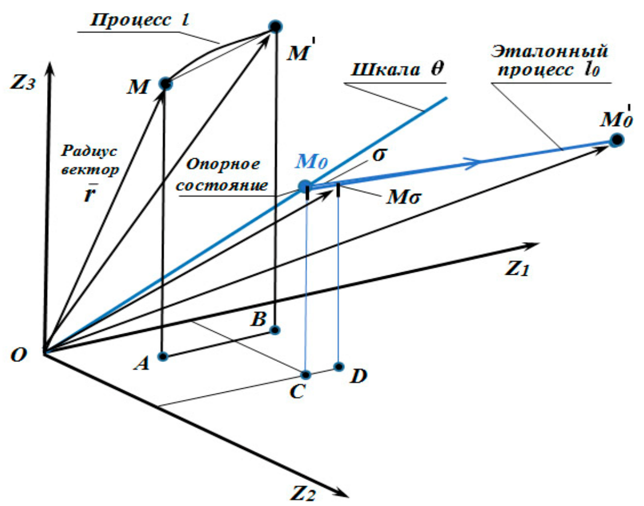


Рисунок 2. – Система построения шкалы для оценки качеств по отношению к опорному состоянию и эталонному процессу

Длины отрезков в многомерном евклидовом пространстве будем определять по известной формуле:

$$l_{ab} = \sqrt{(z_{1b} - z_{1a})^2 + .. + (z_{nb} - z_{na})^2}\ , \qquad (17)$$

где a и b – начало и конец некоторого отрезка ab. При этом параметры свойств должны быть приведены к безразмерному виду или необходимо использовать одинаковые единицы измерения. Подробно методика построения шкал для измерения состояний объектов в евклидовом

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

пространстве дана в [24]. Длины отрезков в других метрических пространствах будем находить с учетом принятых способов определения скалярных функций T и эмпирических мер.

Исходя из выше приведенного, для континуального пространства состояний E^n можно искать модель в виде феноменологического уравнения состояния:

$$\theta = f\left(\frac{z_1}{z_{1_0}}, \frac{z_2}{z_{2_0}}, \ldots, \frac{z_n}{z_{n_0}}\right), \qquad (18)$$

где величина $\theta = l_{OM}/\sigma$ выражается в относительных единицах измерения.

Существуют другие способы построения шкалы менсуры. Например, линейную шкалу θ на основе эталонного процесса M_0M_0' можно создать, используя известные значения эмпирической меры W: $\theta = 100\dfrac{W - W_{M_0}}{W_{M_0'} - W_{M_0}}$.

Далее устанавливаем связь величины θ с текущими состояниями опорного объекта для процесса M_0M_0', которые выражаем через параметры свойств. Можно предложить алгоритм определения значений θ при изменении параметров свойств опорного объекта, т.е. «создать» своего рода «термометр» для оценки различных состояний объектов в пространстве E^n.

Если на основе опытных данных для объектов одного класса будет установлено общее уравнение вида (18), то в этом случае можно говорить о справедливости принципа соответственных состояний. Это дает возможность эмпирического обоснования понятия менсуры, как особой функции, характеризующей состояния объектов в пространстве E^n по совокупности параметров. Исходя из уравнения (18), менсуру можно определить как геометрическую (или иную) меру отклонения состояния изучаемого объекта от опорного состояния, стандартизированного для изучаемого класса объектов.

Следует отметить, что для задания менсуры можно использовать разные модели пространства состояний, а также предложить различные способы измерения расстояний в пространстве E^n, например, относительно различных опорных точек, по отношению к выбранным плоскостям, центрам тяжести и т.п. Можно применять различные меры схожести на основе оценки вероятностей или других эмпирических величин. Например, в термодинамике роль эмпирической меры для относительного сравнения состояний термодинамических систем между собой выполняет величина эмпирической температуры, а модели пространства состояний – особая функция, которая называется абсолютной температурой. Для идеального газа данная температура на плоскости (υ, p) представляет собой параметр в виде отношения площадей. С целью определения абсолютной температуры площадь прямоугольника, для которого проекция состояния $M(\upsilon, p)$ является правой верхней вершиной (точка A), относится к аналогичной площади для проекции $M_0(\upsilon_0, p_0)$ стандартизированного опорного состояния (точка C) в виде $T = p\upsilon/(p_0\upsilon_0)$. В свою очередь, между эмпирической и абсолютной температурами устанавливается линейная связь.

Единица менсуры может определяться в градусах, пунктах, балах и т.п. или в виде специально заданной единицы измерения. Все это дает возможность предложить несколько различных систем для измерения состояний объектов, а задача сравнения состояний сводится к выбору наиболее оптимальной шкалы измерения менсуры и адекватного способа определения соответствующей эмпирической меры.

Таким образом, шкалу менсуры можно представить как систему сопоставимых числовых значений геометрических или эмпирических величин для оценки состояний объектов в фазовом пространстве E^n.

В данном примере в качестве эмпирической меры применена величина расстояния W=l_{OM} до точки M. Далее при обработке данных использованы и другие эмпирические меры, речь о которых велась в предыдущем разделе статьи.

Так как в пространстве E^n каждому состоянию M однозначно ставится в соответствие значение эмпирической меры W, оцененное определенным образом, то по соглашению всегда можно выбрать способ определения длины отрезка M_0M_0' или меру сходства между состояниями M_0 и M_0'.

Таким образом, при создании измерительных шкал качеств (состояний) объектов используем метрические методы шкалирования наподобие температурных шкал в термометрии. В случае формирования шкалы для определенного вида темпоральных данных может быть сформулирована прикладная теория их описания.

Если для описания состояний объектов можно использовать понятие менсуры, которая комплексно характеризует каждое состояние и представляет собой функцию, зависящую от положения точки M, то для описания процессов следует ввести понятие количества воздействия в виде функции линии. Представление о

Аверин Г.В.
Донецкий национальный технический университет

количестве воздействия впервые было предложено А. Гухманом для характеристики различных взаимодействий [31]. При этом данная величина связана с процессом изменения состояния объекта и уровнем внешних воздействий среды на него.

Будем считать, что количество воздействия однозначно характеризует процесс, может быть определено через некую эмпирическую меру W_l и принятую по соглашению систему измерения этой величины (рис. 2).

Соединим точки M и M', принадлежащие процессу l, прямой линией MM' и предположим, что для небольших периодов времени количество воздействия при изменении состояния от M до M' пропорционально, например, площади S_l треугольника OMM', которая может быть выражена через векторное произведение радиус-векторов $\overrightarrow{OM}$ и $\overrightarrow{OM'}$. Зададим единицу измерения количества воздействия, которая будет равна площади δ, приходящейся на один градус мензуры вблизи опорной точки M_0 эталонного процесса l_0 (площадь треугольника OM_0M_σ, рис. 2). Для сравнения процессов будем использовать критерий сходства в виде отношения площадей S_l и δ: $W_l = S_l/\delta$. Примем отношение W_l в качестве количества воздействия и зададим соответствующее значение в виде единицы измерения, которая геометрически будет равна площади δ. Назовем данную единицу измерения количества воздействия, например, *темполорией* (по аналогии с *калорией* в термодинамике), исходя из того, что любой процесс определяется, в первую очередь, его темпоральной длительностью. Векторное произведение определим в соответствии с известными формулами через проекции векторов на оси координат.

Можно предложить и другие способы измерения количества воздействия. Например, в термодинамике количество теплоты (количество тепловой энергии, в принятом представлении количество воздействия) в координатах T и s определяют по отношению площадей $AMM'B$ и $CM_0M_\sigma D$. При этом количество теплоты $dQ=Tds$ находят через абсолютную температуру T (аппликату AM) и условную длину процесса l, которая рассчитывается через значения энтропий состояний M и M'.

Эталонный элементарный процесс M_0M_σ при количестве теплоты в одну калорию характеризует физический процесс нагрева 1 грамма воды на 1 градус Цельсия при стандартном атмосферном давлении и начальной температуре воды 15°C, при этом 1 кал ≈ 4,1855 Дж.

По аналогии с термодинамикой для трех переменных z_1, z_2, z_3 можно предложить способ измерения количества воздействия на основе величины $W_l = S_l/\delta$, где площадь S_l равна, например, сумме площадей трапеций, образованных проекциями точек M и M' на три координатные плоскости (трапеция $AMM'B$ и аналогичные ей). Единица измерения δ будет определяться подобным образом в виде суммы трех площадей, одна из которых характеризуется трапецией $CM_0M_\sigma D$.

В случае, если построена шкала мензуры θ, то для каждого состояния на линии процесса MM' может быть задана функция $\theta = \theta(M)$. Также, если исходить из существования зависимости (1), то величина энтропии будет однозначно зависеть от времени $s = s(\tau)$, так как эта величина определяется непосредственно через переменные состояния.

Поэтому, самый простой способ сравнения процессов между собой заключается в измерении площадей под кривыми MM' в координатах $(\theta,\ \tau)$ в интервале между начальным и конечным состояниями. Критерий сходства может быть взят в виде отношения площадей $W_l = \int_{\tau_0}^{\tau_1} \theta(\tau)\, d\tau \Big/ \delta$. Здесь δ равно площади под линией процесса M_0M_σ в координатах (θ, τ), которая будет соответствовать изменению в один градус мензуры для эталонного процесса вблизи первой опорной точки. Соответствующие площади могут определяться интегрированием функции мензуры относительно параметра времени τ с учетом длительности каждого процесса.

В термодинамике количество теплоты $dQ=Tds$ определяется аналогичным образом через значения температуры T и энтропии состояния, которая связана, в свою очередь, со временем τ.

Таким образом, если при изучении некоторого класса объектов выбраны в качестве переменных состояния две величины z_1 и z_2, то необходимо использовать при построении моделей описания данных две эмпирические меры – одну для сравнения состояний объектов W между собой, а вторую W_l для сравнения протекающих процессов. При использовании трех переменных состояния требуется уже использование трех эмпирических мер и т.д. Это необходимо для замыкания исходных уравнений, описывающих функционирование или поведение объектов во времени, и получения расчетных зависимостей. Также это позволяет определить темпоральности процессов c_l при изменениях состояний объектов в различных условиях.

Сформулированные подходы позволяют предложить способы измерения менсуры и количества воздействия в различных процессах изменения состояний объектов. Особо отметим, что задача сравнения между собой как состояний, так и процессов сводится к выбору оптимальных систем измерения.

Теперь сформулируем основные положения теории применительно к многомерным системам.

Краткие основы теории развития систем

Для построения теории будем использовать системно-феноменологический подход, предложенный ранее автором [20, 24, 32] и развитый вместе с соавторами в работах [21, 23, 25, 26, 27, 36]. Для ограничения объема статьи не будем повторять выводы теоретических зависимостей, изложенных в данных работах, а положения теории изложим в сжатом виде.

Предположим, что по соглашению принята некая система измерения эмпирической меры. Для моделирования сформулируем следующие постулаты.

1. Пусть в пространстве состояний E^n каждой точке M поставлено в соответствие действительное число W, которое будем называть эмпирической мерой состояния.

2. Величина $W=W(M)$ является функцией точки и образует скалярное поле, которое является непрерывным в области E^n.

Для построения феноменологической модели описания процессов изменения состояний в пространстве E^n используем гипотезу, что скалярное поле эмпирической меры W может быть математически описано в окрестности произвольной точки M. Будем считать, что вблизи данной точки осуществляется некий процесс изменения состояния. Для моделирования скалярного поля эмпирической меры $W=W(M)$ необходимо построить модель в виде функции независимых переменных $z_1, z_2, \dots, z_n$. Предположим, что в области E^n можно априори задать некую непрерывную скалярную функцию $T(z_1, z_2, \dots, z_n)$, на основе которой будет формироваться такая математическая модель. При известной функции $T(z_1, z_2, \dots, z_n)$ и значениях переменных $z_1, z_2, \dots, z_n$ в области E^n можно сформировать еще одно поле, которое далее будем называть средой моделирования.

Исходя из этого, для построения в общем случае феноменологической модели сформулируем следующий постулат.

3. Пусть в пространстве состояний E^n скалярное поле величины W и поле функции T однозначно связаны между собой. Если в окрестности любой точки M осуществляется некий процесс l, то для линии процесса l справедливо соотношение $dW = c_l dT$, где c_l – эмпирические величины, которые являются функциями процесса и определяются в опыте.

Выберем в пространстве E^n произвольную точку M. Будем считать, что вблизи данной точки осуществляется элементарный процесс, в результате которого состояние некоторого объекта изменяется от начального M до конечного состояния M' (рис. 2). Тогда элементарное приращение эмпирической меры W можно представить в виде:

$$dW = \left(\frac{\partial W}{\partial z_1}\right)dz_1 + \left(\frac{\partial W}{\partial z_2}\right)dz_2 + \dots + \left(\frac{\partial W}{\partial z_n}\right)dz_n. \quad (19)$$

Исходя из третьего постулата, который определяет связь полевой величины W со скалярной функцией T, $(dW=c_l dT)$, предположим, что:

$$\left(\frac{\partial W}{\partial z_1}\right) = c_1\left(\frac{\partial T}{\partial z_1}\right); \quad \left(\frac{\partial W}{\partial z_2}\right) = c_2\left(\frac{\partial T}{\partial z_2}\right); \ \dots;$$

$$\left(\frac{\partial W}{\partial z_n}\right) = c_n\left(\frac{\partial T}{\partial z_n}\right), \text{ откуда} \quad (20)$$

$$dW = c_1\left(\frac{\partial T}{\partial z_1}\right)dz_1 + c_2\left(\frac{\partial T}{\partial z_2}\right)dz_2 + \dots + c_n\left(\frac{\partial T}{\partial z_n}\right)dz_n,$$

где c_k – величины, которые в самом общем случае зависят от параметров свойств $z_1, z_2, \dots, z_n$, однако, в элементарной окрестности точки M их можно считать постоянными.

Как уже указывалось выше основное отличие скалярного поля эмпирической меры W от вещественно однозначной функции координат $T(z_1, z_2, \dots, z_n)$ состоит в том, что скалярное поле $W=W(M)$ не связано с выбором системы координат, а функция $T(z_1, z_2, \dots, z_n)$ связана с выбором координатных осей для независимых переменных $z_1, z_2, \dots, z_n$. Поэтому эмпирическая мера W представляет собой скаляр, а величина $T(z_1, z_2, \dots, z_n)$ вещественную функцию в виде аналитического выражения. Также, как следует из (20), в данном случае мы пришли к необходимости изучения многомерной формы Пфаффа, которая интегрируема в области E^n, так как второй постулат постулирует существование скалярного поля эмпирической меры.

Приведенных выше постулатов (1.)–(3.) и факта получения при обработке данных уравнения состояния достаточно для обоснования принципа существования энтропии пространства состояний и получения математической формы закона сохранения меры для многих переменных.

В работах [20, 24, 32] показано, что для сред моделирования в виде однородных, мультипликативных и экспертных функций (например, простые функции (9), (10), (11) и (14)) получение теоретических зависимостей связано с решением линейного неоднородного уравнения в частных производных первого порядка вида:

$$\frac{z_1}{c_1}\frac{\partial W}{\partial z_1}+\frac{z_2}{c_2}\frac{\partial W}{\partial z_2}+...+\frac{z_n}{c_n}\frac{\partial W}{\partial z_n}=\beta\, T\,, \qquad (21)$$

где β – константа, определяемая видом функции $T(z_1, z_2, \ldots, z_n)$.

Данное уравнение является линейным неоднородным уравнением в частных производных первого порядка. Решение уравнения (21) методом характеристик, когда характеристики определяются системой обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\beta c_1\frac{dz_1}{z_1}=\beta c_2\frac{dz_2}{z_2}=...=\beta c_n\frac{dz_n}{z_n}=\frac{dW}{T}=ds\,,$$

позволяет получить зависимости для энтропии и потенциала фазового пространства состояний соответственно в виде:

$$ds=c_1\frac{dz_1}{z_1}+c_2\frac{dz_2}{z_2}+...+c_n\frac{dz_n}{z_n}\,; \qquad (22)$$

$$P-P_0=\frac{1}{2}\left(\frac{p_1^2-p_{1_0}^2}{c_1p_{1_0}^2}+\frac{p_2^2-p_{2_0}^2}{c_2p_{2_0}^2}+...+\frac{p_n^2-p_{n_0}^2}{c_np_{n_0}^2}\right). \qquad (23)$$

Величина энтропии s является характеристической функцией пространства состояний E^n. Как следует из уравнений для характеристик, в параметрическом представлении энтропия является длиной дуги векторной линии некоторого поля направлений, порождаемого скалярным полем эмпирической меры W. Потенциал P пространства E^n выступает в качестве одной из мер по отношению к количественной и качественной определенности соответствующего класса объектов.

Из уравнений для характеристик вытекает также соотношение, которое связывает между собой эмпирическую меру W с энтропией s и скалярной функцией T:

$$ds=\frac{dW}{T}\,. \qquad (24)$$

Если исходить из справедливости соотношения $dW=Tds$, то можно сформулировать закон сохранения меры для континуальных пространств состояний в виде некоторого балансового принципа.

Представим зависимость для изменения эмпирической меры в виде:

$$dW=T\,ds=c_n\,dT+\left(T\,ds-c_n\,dT\right). \qquad (25)$$

По аналогии с понятием энергии в термодинамике, определим меру пространства состояний, как величину, равную $du=c_ndT$, тогда из (25) в соответствии с [20, 27] может быть обоснован общий балансовый принцип. С этой целью выражение в скобках в соотношении (25) представляется через параметры $z_1, z_2, \ldots, z_{n-1}$.

Известно, что исходными соотношениями для построения всей теории термодинамики являются термические уравнения состояний веществ и уравнение сохранения энергии.

Сегодня балансовые принципы являются основой научного мировоззрения в естествознании. Однако вопрос о существовании балансовых соотношений по отношению к системам различной природы пока совершенно не изучен. Идея о возможности существования скалярных величин, однозначно характеризующих состояния объектов и подчиняющихся некоторым законам сохранения, достаточно распространена и обоснована в целом ряде естественных наук. Однако, справедливость подобных подходов для биологических, экологических, общественных и других сложных систем может быть установлена только на основе данных наблюдений. Известно, например, что принцип сохранения энергии был первоначально установлен опытным путем для термодинамических систем и затем уже экспериментально и логически распространен на множество физических процессов и явлений в качестве фундаментального закона.

Если для объектов некоторого класса эмпирически обосновать существование балансовых принципов для их континуального фазового пространства, то совместно с уравнениями состояния вполне возможно разработать системно-феноменологическую теорию описания таких объектов, аналогом которой может выступать вся аналитическая теория классической термодинамики.

В работах [20, 27] показано, что, например, для двух переменных, уравнение сохранения меры фазового пространства состояний (25) может быть получено в виде уравнения, которое отражает форму закона сохранения энергии в термодинамике:

$$dW=T\,ds=c_2\,dT+z_2dz_1\,.$$

Отметим, что это, естественно, не единственно возможная форма для поиска балансовых соотношений. Например, закон сохранения меры можно выразить и через потенциал пространства состояний и т.д.

Следует подчеркнуть, что подобные соотношения могут быть справедливы для различных многомерных континуальных пространств состояний объектов независимо от природы изучаемых данных. При этом получаемые уравнения нельзя рассматривать как уравнение сохранения энергии в обычном физическом представлении. Меры фазового пространства состояний в виде $du=c_ndT$ или потенциала P в дифференциальной форме

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

являются особыми математическими функциями, обладающими свойствами полного дифференциала.

Особо отметим, что соответствующие величины энтропии, потенциала и меры будут носить свой специфический характер для определенного класса объектов, выбранных эмпирических мер и каждой комбинации изучаемых переменных состояния.

Из проведенных исследований вытекают следующие общие следствия.

Каждый класс объектов, для континуального пространства состояний которого существует эмпирическая мера, обладает:

- характеристической функцией пространства состояний, называемой энтропией, которая является криволинейной координатой данного пространства;
- характеристической функцией пространства состояний в виде поверхности уровня, ортогональной линиям энтропии, которую можно назвать потенциалом данного пространства;
- свойством сохранения меры, что определено справедливостью балансового принципа для континуальных пространств состояний.

Таким образом, общая методика получения уравнений состояний и феноменологических зависимостей для различных классов объектов в каждом конкретном случае включает следующие этапы [20, 21, 23]:

- составляется темпоральный массив данных для класса объектов физической, биологической, социальной или иной природы;
- определяется перечень переменных состояния, которые наиболее полно характеризуют изучаемые объекты и формируется n-мерное пространство состояний;
- выбираются эмпирические меры для оценки схожести состояний объектов и задается скалярная функция координат n-мерного пространства для формирования среды моделирования;
- строится или выбирается процесс, который может выступать в качестве эталонного процесса в пространстве состояний E^n. Задаются опорные точки для построения линейной шкалы некоего индекса (менсуры), который однозначно связывается с предложенной эмпирической мерой;
- изучаются различные варианты построения системы измерения данной величины и выбираются оптимальные способы измерений, исходя из различных эмпирических мер и сред моделирования;
- разрабатывается измерительная шкала для оценки схожести состояний, производится измерение состояний в созданной шкале и находятся значения менсуры для каждого наблюдаемого состояния объектов;
- определяются уравнения состояний в виде регрессионных зависимостей и делается вывод о справедливости принципа соответственных состояний;
- далее формулируются гипотезы, позволяющие предложить теорию описания данных, обосновывается используемый математический аппарат и разрабатываются основные положения теории для описания массивов данных, характеризующих определенный класс объектов;
- устанавливаются прикладные системно-феноменологические модели для описания опытных данных в изучаемой предметной области, и оценивается их качество и точность.

Таким образом, задача создания системно-феноменологических теорий в предметных областях сводится к построению моделей описания данных для отдельных проблемно-ориентированных массивов данных, имеющих многомерную темпоральную структуру.

Предложенный подход позволяет при моделировании систем применить математический аппарат и методики обработки данных, которые по своей сути несколько близки к основным соотношениям и зависимостям термометрии и термодинамики. Такой метод моделирования является универсальным и может быть использован при разработке математических моделей описания состояний объектов различной природы.

Примеры описания систем и объектов различной природы

На основе обработки и анализа имеющихся темпоральных данных были получены феноменологические модели для целого ряда объектов различной природы [20–27, 32, 36, 40].

Рассмотрим в качестве примеров процесс построения математических моделей для шести классов объектов. Поиск моделей является достаточно трудоемким, так как требуется изучить множество вариантов для нескольких сред моделирования, разных эмпирических мер для оценки сходства и различных наборов переменных состояния, характеризующих конкретный класс объектов. Это приводит к необходимости изучения целого ряда регрессионных зависимостей, описывающих данные, и поиску наиболее адекватных из них для представления в виде уравнения состояния и балансовых соотношений.

1) Биологические объекты.

В статье [24] рассмотрен случай анализа биологической системы. Будем использовать известную базу данных AnAge [33] для получения уравнений состояний биологических видов и, в частности, видов позвоночных животных. Для примера в виде переменных состояния используем величины из базы AnAge:

- максимальная продолжительность жизни в неволе z_1, лет;
- вес взрослой особи z_2, кг;
- уровень метаболизма z_3, Вт.

В качестве первого опорного состояния (точка M_0) при построении линейной шкалы выберем биологическое состояние вида домовая мышь (*Mus musculus*), которая является наиболее изученным модельным животным. Значения параметров для точки M_0 равны z_1=4 года; z_2=0,0205 кг; z_3=0,271 Вт.

В качестве второй опорной точки M'_0 примем биологическое состояние вида серая крыса (*Rattus norvegicus*). Данный вид находится в стадии расцвета и разводится в большом количестве в качестве домашних и лабораторных животных. Значения параметров для точки M'_0 равны z_1=3,8 лет; z_2 =0,300 кг; z_3=1,404 Вт.

При анализе данных будем использовать комбинации приведенных переменных состояния видов из последовательности величин z_1, z_2, z_3, а также их безразмерные величины, отнесенные к значениям опорного состояния.

Построим прямую линию между состояниями M_0 и M'_0, определим длину отрезка $M_0M'_0$ и разобьём его на 100 равных частей. В результате имеем эталон одной единицы сходства состояний. Эта единица в виде градуса *1°M* равна длине σ элементарного отрезка.

При анализе данных в качестве эмпирической меры принято евклидовое расстояние по отношению к опорному объекту, в качестве среды моделирования – скалярная функция меры относительных изменений.

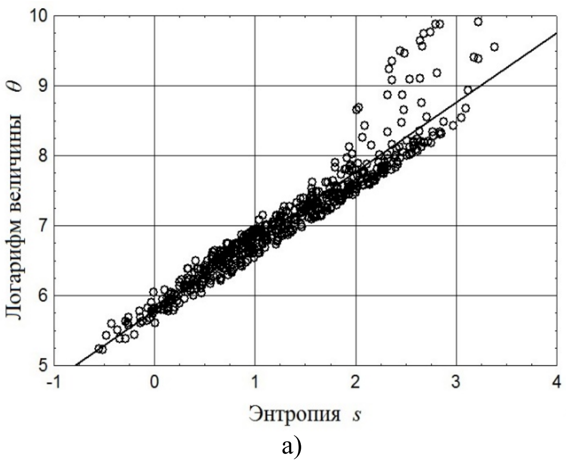
После выполненных операций получены уравнения состояний биологических видов позвоночных животных, некоторые из которых приведены в таблице 1 и на рисунке 3 [24]. Уравнения определялись в виде:

$$\ln\theta = c_0 + s\,; \quad s = c_1 \ln\frac{z_1}{z_{1_0}} + c_2 \ln\frac{z_2}{z_{2_0}} + c_3\,\frac{z_3}{z_{3_0}}\,. \quad (26)$$

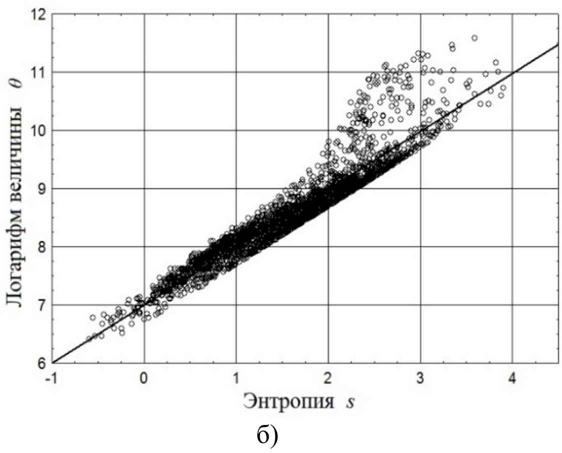
Коэффициенты множественной корреляции зависимостей (табл. 1) имеют высокие значения, что позволяет сделать вывод о справедливости принципа соответственных состояний для изучаемого класса объектов.

Таблица 1. Уравнения состояния для биологических видов

Показатели видов	Кол-во видов	Значение θ в точке M_0, °M	Уравнение состояния	Коэффициент корреляции
z_1, z_2, z_3	546	338,62	$\theta = 323{,}45\left(z_1/z_{1_0}\right)^{0{,}951}\left(z_2/z_{2_0}\right)^{0{,}064}\left(z_3/z_{3_0}\right)^{0{,}041}$	0,96
z_1, z_2	2456	1163,82	$\theta = 1096{,}6\left(z_1/z_{1_0}\right)^{0{,}896}\left(z_2/z_{2_0}\right)^{0{,}101}$	0,95
z_2, z_3	545	23,23	$\theta = 20{,}23\left(z_2/z_{2_0}\right)^{0{,}346}\left(z_3/z_{3_0}\right)^{0{,}564}$	0,99
z_1, z_3	531	351,96	$\theta = 344{,}85\left(z_1/z_{1_0}\right)^{0{,}983}\left(z_3/z_{3_0}\right)^{0{,}085}$	0,97



а)



б)

Рисунок 3. – Уравнения состояния биологических видов:
а) показатели z_1, z_2, z_3, $s = 0{,}951\ln\left(z_1/z_{1_0}\right) + 0{,}064\ln\left(z_2/z_{2_0}\right) + 0{,}041\ln\left(z_3/z_{3_0}\right)$;
б) показатели z_1, z_2, $s = 0{,}896\ln\left(z_1/z_{1_0}\right) + 0{,}101\ln\left(z_2/z_{2_0}\right)$

2) Физические объекты.

Для построения модели физической системы, состоящей из химических элементов периодической таблицы Менделеева, примем в качестве параметров:

- z_1 – радиус атома, пм;
- z_2 – атомную массу элемента, а.е.м.

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

В качестве опорного состояния (точка M_0) при построении уравнения состояния химических элементов приняты свойства водорода, при этом значения параметров для точки M_0 равны z_1=53 пм; z_2=1,0078 а.е.м. Значения переменных состояния для 90 химических элементов относились к свойствам водорода.

При анализе данных в качестве эмпирической меры принята относительная частота w наблюдения состояний объектов в объеме фазового пространства, в качестве среды моделирования – геометрическая вероятность положения точки в пространстве состояний.

В результате получено уравнение состояний химических элементов для выбранных переменных в виде: $\Pr = -4{,}030 + s$;

$$s = 1{,}109 \ln\left(\frac{z_1}{z_{1H}}\right) + 0{,}540 \ln\left(\frac{z_2}{z_{2H}}\right);$$

$$w = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\Pr} \exp\left(\frac{t^2}{2}\right) dt, \qquad (27)$$

где Pr – пробит-функция величины w, z_{1H} и z_{2H} – параметры свойств водорода.

Шкала индекса в этом случае определена значениями пробит-функции. Результаты обработки данных приведены на рисунке 4, а. Коэффициент корреляции зависимости составил 0,96, ошибка – менее 9%. Таким образом, и в этом случае, можно сделать вывод о справедливости принципа соответственных состояний для изучаемого класса объектов.

3) Астрономические объекты.

Рассмотрим класс макрообъектов из астрономии. Для этой цели используем данные каталога Hipparcos, содержащего информацию о 118218 звездах [34]. По данным этого каталога получена диаграмма Герцшпрунга-Рессела для звезд, удаленных от Солнца на расстояние до 500 парсек. Для построения модели возьмем параметры данной диаграммы:

- z_1 – средняя звездная величина;
- z_2 – показатель цвета $B–V$.

При анализе данных в качестве эмпирической меры принято евклидовое расстояние по отношению к опорному объекту, в качестве среды моделирования – геометрическая вероятность положения точки в пространстве состояний.

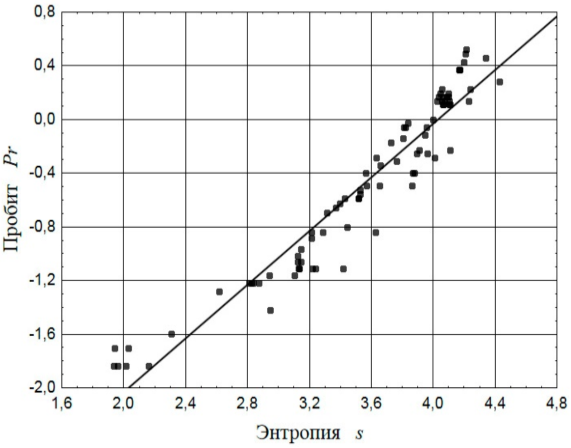
Параметры опорного состояния (точка M_0) при построении уравнения состояния заданы в виде минимально наблюдаемых значений звездной величины и показателя цвета $B–V$. В качестве второй опорной точки (M_0') приняты максимально наблюдаемые значения этих величин.

При обработке данных получено уравнение состояния звездных объектов для выбранных переменных в виде:

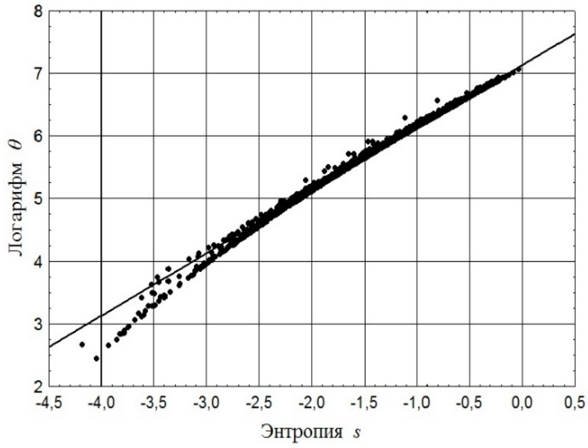
$$\ln\theta = 7{,}135 + 2{,}361 \ln\rho_{Mag} + 0{,}022 \ln\rho_{BV}, \qquad (28)$$

коэффициент корреляции которого составил 0,99. Здесь геометрические вероятности равны $\rho_{Mag} = (z_1 + 1{,}44)/15{,}07$ и $\rho_{BV} = (z_2 + 0{,}4)/5{,}7$. Результаты обработки данных приведены на рисунке 4, б.

Из приведенных результатов видно, что для данных физических объектов и выбранных переменных состояния принцип соответственных состояний выполняется.



а)



б)

Рисунок 4. – Уравнения состояния для классов физических объектов:
а) химические элементы периодической таблицы Менделеева, $s = 1{,}109 \ln(z_1/z_{1H}) + 0{,}540 \ln(z_2/z_{2H})$;
б) звезды из каталога Hipparcos, удаленные от Солнца на расстояние до 500 парсек, $s = 2{,}360 \ln(\rho_{Mag}) + 0{,}022 \ln(\rho_{BV})$

Аверин Г.В.
Донецкий национальный технический университет

4) Социально-экономические объекты.

Теперь рассмотрим три социально-экономические системы (города, регионы России и страны мира), используя при анализе существующие базы данных.

Уравнения состояния и развития регионов России

В первом случае для исследований была сформирована статистическая база данных социально-экономических показателей субъектов Федерации [35]. Она включала информацию по каждому из 80 регионов для 48 показателей за 16 лет (с 2002 по 2017 гг.).

Для примера выберем для анализа данных семь показателей развития, характеризующих сектор реальной экономики:

- объем товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами:
- добыча полезных ископаемых, z_1;
- обрабатывающие производства, z_2;
- производство и распределение энергии, газа и воды, z_3;
- продукция сельского хозяйства, z_4;
- объем работ в строительстве, z_5;
- объем платных услуг населению, z_6;
- оборот розничной торговли, z_7.

Размерность данных величин – млн. руб.

В качестве опорных состояний (точки M_0 и M'_0) при построении измерительной шкалы выбраны состояния Белгородской области в 2012 и 2015 годах. При анализе данных за эмпирическую меру принято евклидовое расстояние по отношению к опорному объекту, в качестве среды моделирования – функция меры относительных изменений.

Уравнения состояния для 80 регионов России получены в виде регрессионных зависимостей вида [36]:

- для 2012 года

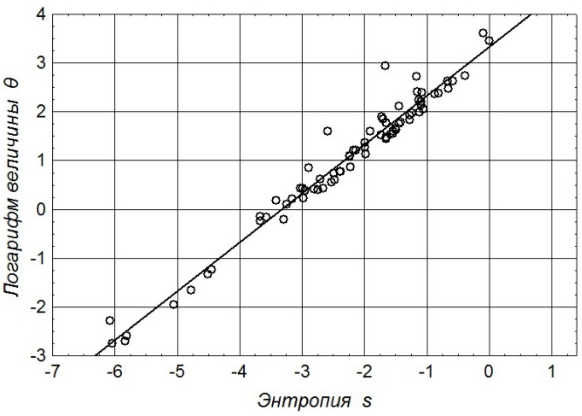
$$\ln\theta = 4{,}041 + 0{,}083\frac{z_1}{z_{1_0}} + 0{,}751\frac{z_2}{z_{2_0}} + 0{,}086\frac{z_3}{z_{3_0}} + 0{,}508\frac{z_7}{z_{7_0}};$$

для 2015 года

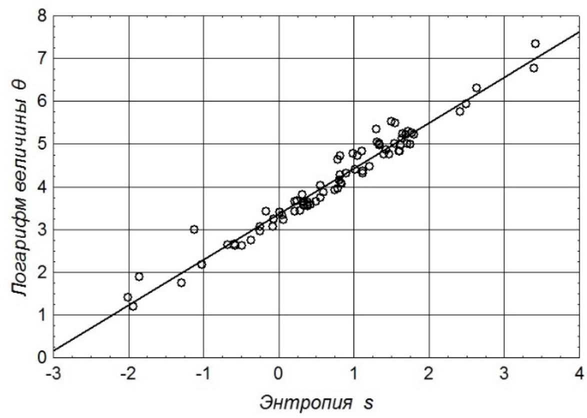
$$\ln\theta = 4{,}364 + 0{,}080\frac{z_1}{z_{1_0}} + 0{,}613\frac{z_2}{z_{2_0}} + 0{,}455\frac{z_7}{z_{7_0}}. \quad (29)$$

Результаты обработки данных представлены на рисунке 5. Хорошее качество уравнений позволяет сделать вывод о справедливости принципа соответственных состояний для регионов России при их оценке по показателям реальной экономики.

При изучении развития регионов России для различных переменных состояния было получено несколько десятков уравнений состояний с высокими коэффициентами множественной корреляции (0,95–0,99).



а)



б)

Рисунок 5. – Уравнения состояния для регионов России по показателям реального сектора экономики:
а) 2012 год: $s = 0{,}083 z_1/z_{1_0} + 0{,}751 z_2/z_{2_0} + 0{,}086 z_3/z_{3_0} + 0{,}508 z_4/z_{4_0}$;
б) 2015 год: $s = 0{,}080 z_1/z_{1_0} + 0{,}613 z_2/z_{2_0} + 0{,}455 z_7/z_{7_0}$

Уравнения состояния и развития городов России

При получении уравнений состояния городов России была использована база данных статистической информации Росстата [37]. На основе этого источника сформирован темпоральный массив данных, характеризующих состояние экономики и социальной сферы городов с населением свыше 100 тыс. чел. (всего 154 города, без Москвы и Санкт-Петербурга). Для каждого города имеется информация по 63 основным социально-экономическим показателям в период времени с 2003 по 2017 годы (с шагом один год). Для иллюстрации примера возьмем четыре показателя, которые характеризуют показатели развития городов:

- объем товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами. Обрабатывающие производства, z_1;

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

- объем работ в строительстве, z_2;
- объем платных услуг населению, z_3;
- оборот розничной торговли, z_4;
- объем инвестиций в основной капитал, z_5.

Размерность величин задана в млн. руб.

Эталонный процесс выбран в виде развития города Белгорода в 2003–2015 гг. В качестве эмпирической меры принято евклидовое расстояние до опорного объекта, в качестве среды моделирования – функция меры относительных изменений.

Уравнения состояния для 154 городов России получены в виде регрессионных зависимостей вида [21, 23]:

- для 2005 года

$$\theta = 62{,}05\left(z_1/z_{1_0}\right)^{0{,}406}\left(z_4/z_{4_0}\right)^{0{,}398}\left(z_5/z_{5_0}\right)^{0{,}181};$$

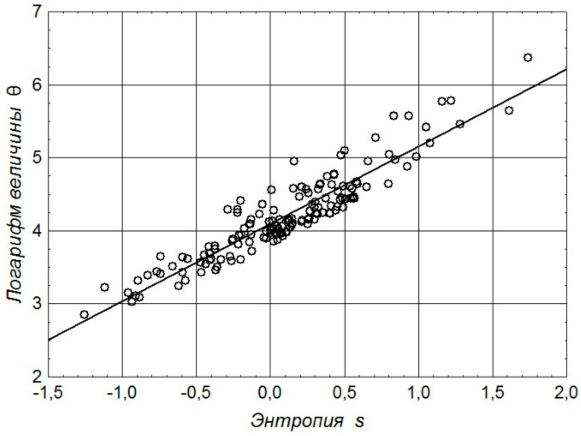
- для 2015 года

$$\theta = 56{,}77\left(z_1/z_{1_0}\right)^{0{,}527}\left(z_5/z_{5_0}\right)^{0{,}340}. \qquad (30)$$

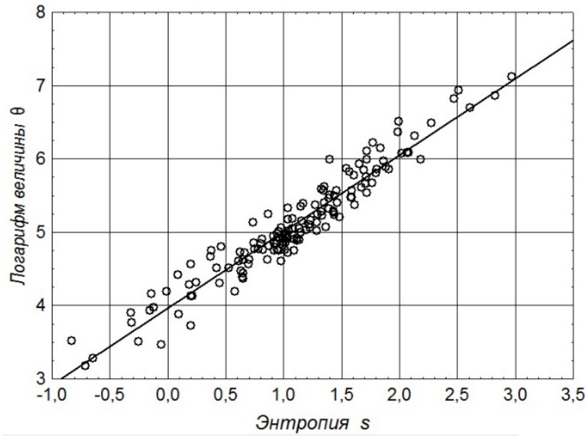
Результаты обработки данных представлены на рисунке 6.

Качество полученных уравнений достаточно высокое, коэффициенты множественой корреляции составляют 0,93–0,97. При изучении состояния и развития городов России получено более 150 уравнений состояний высокого качества для различных наборов переменных состояния и разных моментов времени.

Полученные результаты позволяют провести ранжирование городов России по уровню и темпам развития [23].



а)



б)

Рисунок 6. – Уравнения состояния для городов России по показателям развития в 2005 и 2015 гг.:
а) 2005 год: $s = 0{,}406\ln\left(z_1/z_{1_0}\right) + 0{,}398\ln\left(z_4/z_{4_0}\right) + 0{,}181\ln\left(z_5/z_{5_0}\right)$;
б) 2015 год: $s = 0{,}527\ln\left(z_1/z_{1_0}\right) + 0{,}340\ln\left(z_5/z_{5_0}\right)$

Уравнение состояния стран мира по показателям человеческого развития

В качестве глобальной социально-экономической системы изучались страны мира, для чего использовалась информация Докладов Программы развития ООН, которая охватывает данные по странам с 2008 по 2017 годы [38].

Для изучения стран выбраны общепринятые показатели, характеризующие уровень человеческого развития:

- средняя продолжительность обучения z_1, лет;
- ожидаемая продолжительность обучения z_2, лет;
- валовый национальный доход (ВНД) на душу населения в пересчете по паритету покупательной способности (ППС) в долларах США z_3;
- ожидаемая продолжительность жизни z_4, лет.

Эмпирическая мера принята в виде статистической вероятности совместных событий наблюдения значений четырех показателей, которая подсчитывалась алгоритмически во всей группе объектов (169 стран), среда моделирования – в виде функции меры относительных изменений (рис. 7, а).

Эталонный процесс представлен развитием страны Нигер в 2008–2015 гг., которая имела самый низкий индекс человеческого развития в 2008 году.

Уравнения состояния для 169 стран мира получены в виде распределений вероятностей совместных событий наблюдения значений выше указанных показателей человеческого развития [20, 21, 23]. Например, для 2014 года данное распределение может быть приведено в виде:

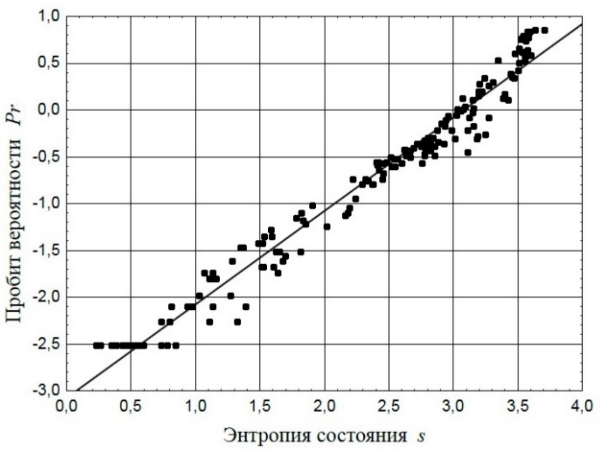
$$\Pr = -3{,}071 + s\,; \quad w = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\Pr}\exp\left(\frac{t^2}{2}\right)dt\,;$$

$$s = 0{,}346\ln\left(\frac{z_1}{z_{1_0}}\right) + 0{,}862\ln\left(\frac{z_2}{z_{2_0}}\right) +$$

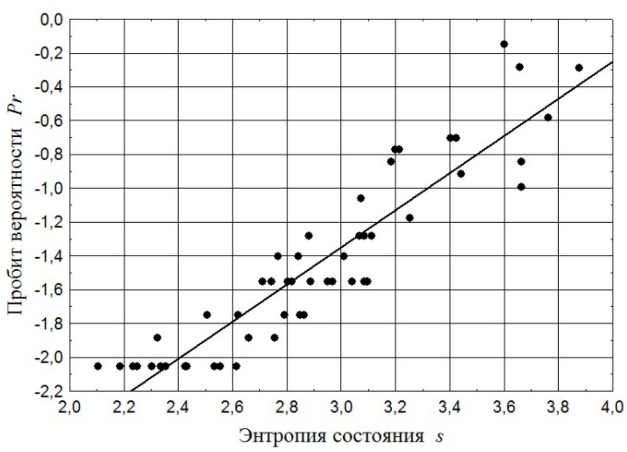
$$+ 0{,}167\ln\left(\frac{z_3}{z_{3_0}}\right) + 2{,}402\ln\left(\frac{z_4}{z_{4_0}}\right). \qquad (31)$$

Результаты обработки данных представлены на рисунке 7, а. Коэффициент множественной корреляции зависимости (31) составляет 0,98.

Аверин Г.В.
Донецкий национальный технический университет



а)



б)

Рисунок 7. – Распределение вероятностей совместных событий наблюдения значений показателей:
а) человеческого развития стран мира в 2014 году, уравнение (31);
б) социально-аграрного развития губерний России, уравнение (32)

5) Исторические объекты.

В качестве исторических данных рассмотрим информацию из экономической истории России конца XIX – начала XX веков, характеризующую социально-аграрное развитие 50 губерний Европейской части России [39].

Используем следующие показатели:

- число сельскохозяйственных рабочих в расчете на десятину посева, z_1, чел./дес;
- доля безлошадных и однолошадных в общем числе дворов, z_2, %;
- поденная плата сельскохозяйственным рабочим в уборку урожая, z_3, коп.

Эмпирическая мера выбрана в виде статистической вероятности совместных событий наблюдения значений z_k показателей, в качестве среды моделирования – функция меры относительных изменений. Уравнения состояния получены в виде распределений вероятностей совместных событий:

$$\Pr = -4{,}354 + s\ ;\quad w = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\Pr} \exp\left(\frac{t^2}{2}\right) dt\ , \qquad (32)$$

$$s = 0{,}265 \ln\left(\frac{z_1}{z_{1\min}}\right) + 1{,}610 \ln\left(\frac{z_2}{z_{2\min}}\right) + 1{,}295 \ln\left(\frac{z_3}{z_{3\min}}\right).$$

Результаты обработки данных представлены на рисунке 7, б, коэффициент множественной корреляции зависимости (32) составляет 0,88.

6) Лингвистические объекты.

В статье [40] рассмотрен случай анализа лингвистических данных с целью изучения вероятностной природы смыслов слов в русском языке. Данная задача относится к современному направлению вероятностно-ориентированной философии, которое активно развивалось В. Налимовым.

Предлагаемый подход основан на статистическом анализе группы слов, содержащих смысл, по отношению к аналогичной группе бессмысленных слов. Для решения задачи использован предложенный метод, для чего сформировано многомерное фазовое пространство оцифрованных слов, где последовательности букв алфавита поставлена в соответствие последовательность целых чисел. Это позволило представить множество существующих слов, как со смыслом, так и без смысла, в виде математических объектов. Слова со смыслом взяты из филологического словаря, бессмысленные слова образованы с помощью генераторов случайных чисел с равномерным распределением.

При оценке вероятностной природы смыслов предложено использовать эмпирическую меру в виде вероятностей событий. Для этого применялась статистическая вероятность положения слова, как многомерной точки, в заданном объеме фазового пространства. Данная вероятность находилась алгоритмически, исходя из непосредственного подсчета вероятности совместных событий одновременного наблюдения значений оцифрованных букв. В качестве среды моделирования использована функция меры относительных изменений.

Для примера изучим класс объектов – слова из четырех букв. Построим для этих слов четырехмерное дискретное фазовое пространство состояний. Для этого букве «а» присвоим число 1, букве «б» – число 2 и так далее. Букве «я» будет присвоено число 33. Сформируем пространство четырех измерений, где первой букве слова будет соответствовать первая координатная ось чисел (первый параметр, z_1), второй – вторая ось (второй

 ISSN 2411-720X (Print) ISSN 2413-0834 (Online)

параметр, z_2) и т.д. Тогда каждая буква слова будет представлена в этом пространстве определенным числовым значением (от 1 до 33) на одной из четырех координатных осей, а каждое слово – многомерной точкой относительно координат четырех числовых осей.

Статистические распределения вероятностей событий для различных видов слов из четырех букв приведены на рисунке 8 и представлены следующими зависимостями:

- для слов со смыслом:

$$\ln w_m = -5{,}258 + s\,, \tag{33}$$

$$s = 0{,}744\ln\left(\frac{z_1}{z_{1_0}}\right) + 0{,}576\ln\left(\frac{z_2}{z_{2_0}}\right) + 0{,}837\ln\left(\frac{z_3}{z_{3_0}}\right) + 0{,}561\ln\left(\frac{z_4}{z_4}\right);$$

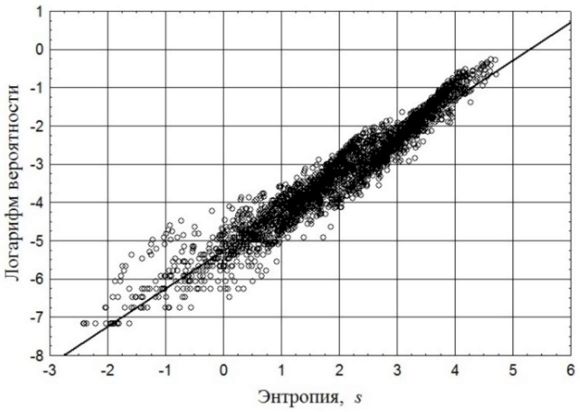
- для слов без смысла:

$$\ln w = -8{,}145 + s\,, \tag{34}$$

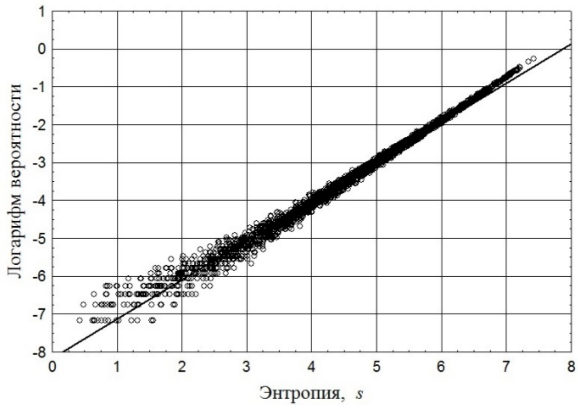
$$s = 0{,}981\ln\left(\frac{z_1}{z_{1_0}}\right) + 0{,}925\ln\left(\frac{z_2}{z_{2_0}}\right) + 0{,}913\ln\left(\frac{z_3}{z_{3_0}}\right) + 0{,}910\ln\left(\frac{z_4}{z_{4_0}}\right),$$

где w_m, w – статистическая вероятность соответственно для слов со смыслом и без него, определенная алгоритмически; s – эмпирическая энтропия; z_k, z_{k_0} – цифровые значения букв для различных слов и опорного слова, в качестве которого принято слово «*мама*».

В процессе анализа установлено специфическое различие между смысловыми и бессмысленными языковыми единицами, что связано со скрытыми вероятностными особенностями и закономерностями, которые существуют в двух однородных, но качественно разных группах слов.



а)



б)

Рисунок 8. – Распределение вероятностей совместных событий наблюдения букв в словах со смыслом (*а*, уравнение (33)) и без смысла (*б*, уравнение (34)) (слова из четырех букв)

Предложенный метод дает возможность разработать системы оценки смыслосодержания в оцифрованных словах и предложить шкалы для семантических измерений.

Из всего приведенного выше материала видно, что для самых разных классов объектов могут быть найдены уравнения состояний в виде феноменологических соотношений. Аналогичные результаты были получены при обработке и анализе данных по природоохранной деятельности и анализу поведения социальных групп [21, 23], оценке военной силы государств, деятельности страховых компаний, изучении исторических данных, в частности, событий в техносфере, анализе устойчивого развития социально-экономических объектов [36], оценке значений курсов валют и показателей потребления энергии странами мира, анализе токсикологических данных [20] и т.д. Все это говорит о перспективах применения предложенных методов описания темпоральных данных в процессе изучения объектов различной природы.

Закон сохранения меры

На конкретных примерах обработки опытных данных для биологической, физической и социально-экономической систем покажем возможность нахождения соотношений в форме зависимостей, отражающих принцип сохранения меры пространства состояний.

В работах автора [20, 24] показано, что, например, для двух переменных, уравнение сохранения меры континуального пространства состояний может быть найдено в виде эмпирического уравнения:

$$Tds = du + \beta_1 z_2 dz_1 + \beta_0\,, \tag{35}$$

где обозначения величин соответствуют обозначениям, принятым в уравнении (25).

Вывод этого уравнения дан в статье [24], для многих переменных вывод уравнения имеется в работе [20]. Уравнение (35) имеет форму закона сохранения энергии в естествознании. Отметим, что это, естественно, не единственно возможный вариант для поиска балансовых

 Аверин Г.В.
Донецкий национальный технический университет

соотношений. Просто данная форма удобна для процесса обработки данных, так как позволяет представить поле эмпирической меры в виде суммы двух величин: одна из которых пропорциональна изменению скалярной функции *T*, а вторая представляет собой некую функцию параметров состояния. Для количества переменных состояния больше двух балансовое соотношение следует определять как аппроксимационную функцию невязки эмпирической меры *W* и меры *u* для пространства состояний. После чего легко найти балансовое соотношение как в явной, так и в дифференциальной форме. При этом величина $du = c_2\,dt$ является полным дифференциалом.

На рисунке 9, а приведены результаты обработки данных при обосновании балансового принципа сохранения меры пространства состояний видов позвоночных животных для случая двух переменных: веса взрослой особи *m* и метаболизма *q*. Для этого случая уравнение состояния было получено в виде $\theta = 20{,}70(m/m_0)^{0{,}932}(q/q_0)^{0{,}628}$ [24]. В свою очередь, уравнение сохранения меры эмпирически обосновано в виде:

$$T\Delta s = c_2\Delta T + 5{,}671\frac{q}{R}\Delta m - 20{,}952\,, \qquad (36)$$

где $\Delta m = m - 0{,}0205$ кг; $\Delta T = T - 1{,}0$; $\Delta s = s - s_0$; $R = 0{,}271$ Вт; $c_2 = 0{,}628$. Энтропия в опорной точке принята равной нулю. Коэффициент корреляции уравнения составил 0,99.

Аналогичным образом получено уравнение сохранения меры пространства состояний для химических элементов периодической таблицы Менделеева (рис. 9, б). Используемые переменные состояния: радиус атома z_1 и атомная масса элемента z_2, а уравнение состояния для этого случая получено в виде (27). Уравнение сохранения меры обоснованно в виде:

$$T\Delta s = \Delta u + 5{,}304\frac{z_2}{R_*}\Delta z_1 - 56{,}38\,, \qquad (37)$$

где $\Delta z_1 = z_1 - 53$ пм; $\Delta T = T - 1{,}0$; $\Delta s = s - s_0$; $R_* = 0{,}271$ Вт; $c_2 = 0{,}540$. Энтропия в опорной точке принята равной нулю. Коэффициент корреляции уравнения составил 0,99.

Уравнение сохранения меры пространства состояний городов России для переменных: объем товаров и услуг промышленного производства z_1 и оборот розничной торговли z_2, эмпирически получено в виде [21, 23]:

$$T\Delta s = \Delta u + 5{,}06\frac{z_1}{R_{\min}}\left(z_{2_0} - 117\right) - 9117{,}0\,, \qquad (38)$$

где $R_{\min}$ – эмпирическая константа. Уравнение состояния в этом случае имеет вид

$$\mathrm{Pr} = -4{,}309 + 0{,}465\ln\frac{z_2}{z_{2\min}} + 0{,}441\ln\frac{z_1}{z_{1\min}}\,.$$

При анализе городов России было получено более 30 эмпирических зависимостей высокого качества для различных наборов переменных в виде уравнения сохранения меры [23].

Из приведенных результатов видно, что для континуальных фазовых пространств состояний объектов различной природы может быть сформулирован эмпирический закон сохранения меры, который является по своей сущности феноменологическим балансовым принципом. Известно, что применение балансовых соотношений часто приводит к краевым задачам для дифференциальных уравнений в частных производных параболического вида.

Таким образом, при описании темпоральных данных возможно применение балансовых принципов и разработка на основе общего подхода моделей физических, биологических и социальных систем. Для этого необходимо сформировать проблемно-ориентированные базы темпоральных данных и создать множество системно-феноменологических моделей для описания процессов и явлений в той или иной предметной области. Это актуальное направление исследований позволяет привнести количественные методы в диалектику и установить общие феноменологические законы развития природы и общества.

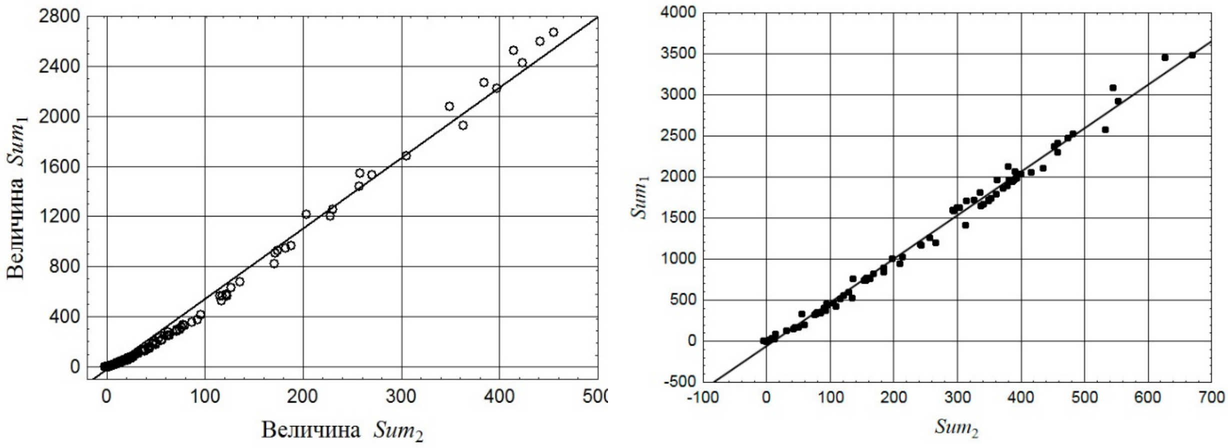
Об оценке сложности объектов различной природы

Любая общесистемная наука должна открывать перспективы получения новых законов в конкретных областях знаний.

Познание системы любой природы как целого непосредственно связано с представлениями о простоте и сложности объектов исследования [41]. В связи с тем, что все науки в своем содержании опираются на анализ и обобщение эмпирических данных, то возникает проблемный вопрос: каким образом на основе имеющихся данных наблюдений можно оценить сложность той или иной системы?

Представления о сложности класса объектов выполняют особую роль. Сегодня все понятия простоты/сложности сформулированы на качественном уровне и слабо связаны с эмпирическими данными. Путь к представлениям о простоте и сложности целого проходит через поиски объединяющих понятий. Количественные критерии позволяют придать конкретный смысл объективному изучению сложных систем в контексте системного подхода в познании законов природы и общества.

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)



а) б)

Рисунок 9. – Уравнения сохранения меры пространства состояний:
а) для биологических видов относительно веса и удельной интенсивности метаболизма, зависимость (36), где $Sum_1 = T\Delta s - c_2\Delta T$, $Sum_2 = (q/R)\Delta m$;
б) для химических элементов относительно радиуса атома и атомной массы элемента, зависимость (37), где $Sum_1 = T\Delta s - c_2\Delta T$ $Sum_2 = (z_2/R_*)\Delta z_1$

Поиску таких критериев в системном анализе, общей теории систем и кибернетике посвящены работы многих авторов, обзор которых дан в энциклопедическом труде [4].

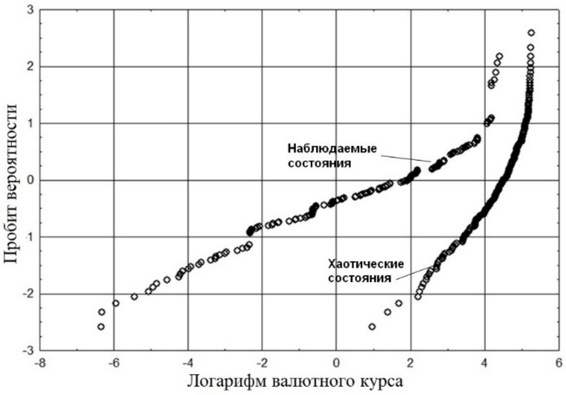
Из приведенных ранее результатов видна реальная возможность сравнения между собой различных классов объектов, исходя из их сложности. Например, это следует из результатов, полученных при оценке смыслов слов. В этом плане имеем крайне актуальную общесистемную научную задачу, которую можно решить путем использования количественных критериев. Такие критерии должны позволять оценить сложность систем на основе сравнения статистических вероятностей, характеризующих состояния реальных и аналогичных им модельных хаотически организованных систем.

Илья Пригожин отмечал, что законы физики (да и не только физики) должны учитывать *возможность*. Следует отметить, что в науке при построении моделей возможность учитывается, однако понимается она в узком смысле слова – как равновозможность. При построении моделей очень часто используются простые симметрии – однородность, изотропность, изоморфность, в основу которых, по большому счету, положена равновозможность состояний. Даже понятия функции и систем координат в математике основываются на равновозможном выборе значений исходных величин. Например, в простейшем случае понятие функции дается в виде: если величина *x* может принимать *произвольные* значения, и указано какое-либо правило, посредством которого приводятся в соответствии с этими значениями определенные значения другой величины *y*, то говорят, что *y* является функцией от *x* и эту связь записывают символически следующим образом: *y=f(x)*. В свою очередь, определение функции по Дирихле: *y* есть функция переменной *x*, определенная на отрезке *[a≤ x ≤b]*, если *всякому* значению переменной *x*, содержащемуся на этом отрезке, соответствует вполне определенная величина переменной *y*, причем совершенно неважно, каким именно способом установлено это соответствие. Современное определение функции в терминах множеств имеет вид: пусть каждому *произвольному* числу *x* из заданного множества *E* поставлено в соответствие число *y*, обозначаемое *y=f(x)*, тогда говорят, что на множестве *E* задана функция *y=f(x)*.

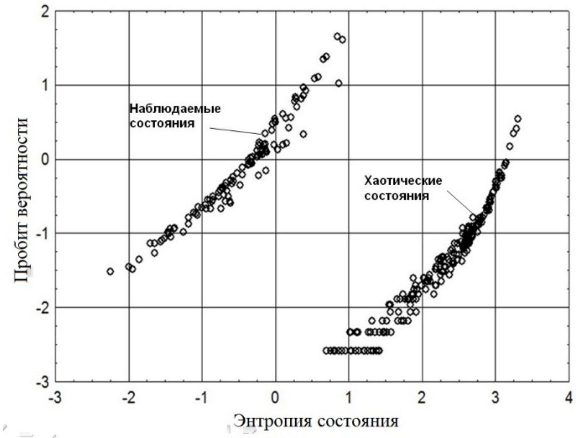
Если представить задание величины *x* как некоторое событие, то исходя из выделенных словосочетаний, в приведенных выше определениях: «произвольные значения», «всякому значению», «произвольному числу», данное событие можно рассматривать как *равновозможное*. Это говорит о том, что распределение величины *x*, как вероятностный принцип и исходная предпосылка при построении функциональной зависимости, будет соответствовать равномерному закону распределения. Следовательно, *равновозможность* – это основное свойство динамической закономерности при ее исходной формулировке.

Исходя из этого, чтобы систематизировать существующие классы объектов по факту наблюдаемых статистических закономерностей, необходимо выделить некоторый простой класс как основу для всех относительных сравнений, своего рода опорный или эталонный класс объектов. Для этого можно использовать понятие хаотических систем. Предположим, что хаотическими являются однородные системы (классы объектов), в которых при любых процессах изменения свойств формируются независимые и равновозможные состояния. Хаотические системы отличаются равномерными распределениями характерных событий и обладают самыми простыми статистическими закономерностями. Распределения вероятностей состояний для таких систем будут определяться размерностью фазового пространства и диапазонами изменения значений переменных состояния и могут быть заданы в каждом конкретном случае с использованием имитационных моделей (рис.10).

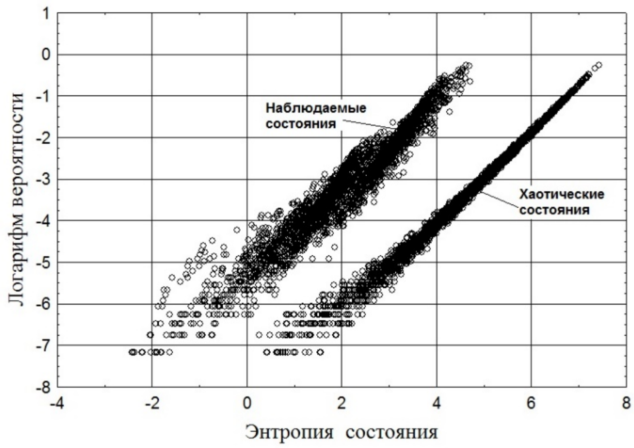
Будем применять такие системы как эталоны при сравнении между собой различных классов объектов по факту их сложности. Возьмем две однородные группы объектов, одинаковые по числу экземпляров и изучаемых свойств.



а)



б)



в)

Рисунок 10. – Примеры оценки различных классов объектов по уровню сложности:
а) распределение вероятностей событий наблюдения значений курсов валют стран в 2015 году;
б) распределение вероятностей совместных событий наблюдения значений показателей потребления энергии странами в 2015 году;
в) распределение вероятностей совместных событий наблюдения букв в словах со смыслом и без смысла (слова из четырех букв)

Первая группа формируется из экземпляров изучаемого класса реальных объектов, вторая группа – из аналогичных модельных объектов, имеющих равновероятные состояния. В последнем случае в пространствах состояний сформируем независимые и равновозможные состояния, свойственные модельной группе объектов. С этой целью используются генераторы случайных чисел с равномерным распределением.

На рисунке 10 приведено сравнение состояний некоторых классов объектов с хаотически организованными состояниями аналогичных модельных объектов.

В первом случае дано распределение вероятностей простых событий наблюдения значений курсов валют стран мира (рис. 10, а). Во втором случае (рис. 10, б) – распределение вероятностей совместных событий наблюдения значений показателей потребления энергии странами мира (потребление электроэнергии, кВт·час/чел.; потребление газа, м^3/чел.; потребление очищенных нефтепродуктов, баррелей/чел.). В третьем случае приведены распределения вероятностей совместных событий наблюдения букв в словах из четырех букв (рис. 8 а и 8 б) на одном рисунке 10, в.

Во всех рассматриваемых случаях в качестве эмпирической меры использована статистическая вероятность состояния в заданном объеме фазового пространства. Из приведенных рисунков видны явно выраженные вероятностные закономерности, которые отличаются для реальных и аналогичных им простейших хаотических систем.

Полученные результаты указывают на возможность построения измерительных шкал, позволяющих оценить сложность того или иного класса объектов по отношению к аналогичному классу хаотически организованных объектов, принятых в качестве эталонов.

Математические аспекты теории развития систем

В заключение статьи следует отметить важные и перспективные направления научных исследований в теоретическом анализе процессов развития систем.

Известно из математической физики, что континуальному пространству состояний можно приписать феноменологические свойства. Это позволяет предложить аналитическую теорию развития систем, когда пространство состояний объектов представляется как сплошная среда – континуум. Исходя из этого аналитическое исследование процессов и явлений в предметных областях может сводиться к изучению скалярных полей эмпирической меры относительно времени и параметров свойств $W = W(\tau, z_1, z_2, ..., z_n)$. Для этого можно получить дифференциальное уравнение для эмпирической меры W. Так как данная величина и параметры свойств являются функциями времени, то продифференцировав по времени уравнение (21), получим:

$$\beta \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{c_1} \frac{\partial}{\partial z_1} \left(z_1 \frac{\partial W}{\partial z_1} \right) z_1'(\tau) + ...$$

$$... + \frac{1}{c_n} \frac{\partial}{\partial z_n} \left(z_n \frac{\partial W}{\partial z_n} \right) z_n'(\tau). \tag{39}$$

Для квазистационарных систем производные параметров свойств $z_1'(\tau)$ являются медленно меняющимися во времени величинами. Также предполагая, что соотношение $dW = c_l\, dT$ справедливо для процессов, явно зависящих от времени, и к уравнению (19) может быть добавлена частная производная по времени, уравнение (39) представим в виде:

$$a \frac{\partial W}{\partial \tau} = \alpha_1 \frac{\partial}{\partial z_1} \left(\frac{\partial W}{\partial z_1} \right) + \alpha_2 \frac{\partial}{\partial z_2} \left(z_2 \frac{\partial W}{\partial z_2} \right) + ...$$

$$... + \alpha_n \frac{\partial}{\partial z_n} \left(z_n \frac{\partial W}{\partial z_n} \right), \tag{40}$$

где величины α и α_k могут быть заданы как функции времени и параметров свойств. Данные феноменологические величины следует определять по имеющимся опытным данным, исходя из решения обратных краевых задач. Таким образом, приходим к нестационарному уравнению диффузии, которое задается для многомерной полуограниченной области.

Дифференциальное уравнение в частных производных (40) при исходных допущениях определяет поле эмпирической меры, которая может быть принята для описания эволюционно развивающейся системы. Данное уравнение при определенных краевых условиях математически характеризует свойства континуального пространства состояний объектов различной природы.

Подобный подход позволяет привлечь для описания фазовых пространств состояний систем и объектов мощный инструментарий математической физики.

Выводы

Таким образом, количественные методы естественных наук вполне могут быть привнесены в диалектику. Это достаточно трудоемкая задача; во многих естественных науках процесс накопления эмпирического знания и создания теорий растянулся на десятилетия, если не на столетия. Это при том, что каждая из этих наук имеет сравнительно узкую сферу приложения. На данном пути придется систематизировать и обобщить знания из разных областей науки, где имеется необходимый эмпирический материал и возможно создание количественных теорий. Однако это открывает целый ряд перспективных научных направлений, связанных с междисциплинарными исследованиями в самых различных областях знаний, созданием онтологий и теорий в естественных и гуманитарных науках, поиском общесистемных закономерностей и математическим обоснованием диалектических законов развития. Уже очевидно, что возможна формулировка законов диалектики в естественнонаучной форме, например, получение математических зависимостей, отражающих закон перехода количественных изменений в качественные для различных классов объектов и систем, или разработка общих моделей для описания макроскопических свойств природы и общества.

Тем не менее, есть вполне обоснованные сомнения, что естественнонаучные и математические методы в их основополагающем виде в обозримой перспективе могут быть широко использованы гуманитарным сообществом. И проблема здесь лежит значительно глубже, нежели просто внедрение таких методов научных исследований в гуманитарные области знаний. Суть проблемы заключается в глубоких качественных отличиях в общепринятых системах обучения в естественнонаучной и гуманитарной сферах образования.

Список литературы

1. Mathematical modeling of collective behavior in socio-economic and life sciences / G. Naldi, L. Pareschi, G. Toskani (eds.). Berlin, Springer, 2010, 438 p.
2. Словохотов Ю.Л. Физика и социофизика. Ч. 1–3 // Проблемы управления, 2012, №1: 2–20, №2: 2–31, №3: 2–34.
3. Econophysics and sociophysics: trends and perspectives / B.K. Chakrabarti, A. Chakraborti, A. Chatterie (eds.). Berlin, Wiley-VCH, 2006, 622 p.
4. Encyclopedia of complexity and systems science / R.A. Meyers (Editor-in-chief). Berlin, Springer, 2009, 10370 p.
5. Newman M.E.J. Complex systems: a survey // Amer. J. Phys., 2011, Vol. 79: 800–810. Available at: https://arxiv.org/pdf/1112.1440.pdf (accessed November 5, 2018).
6. Вайдлих В. Социодинамика: Системный подход к математическому моделированию в социальных науках / Пер. с англ. Изд. 3. – М.: Либроком, 2010. – 480 с.
7. Давыдов А.А. Системный подход в социологии: новые направления, теории и методы анализа социальных систем. – М.: URSS, 2005. – 328 с.
8. Турчин П.В. Историческая динамика. На пути к теоретической истории. Пер. с англ. / Под ред. Г.Г. Малинецкого, А.В. Подлазова, С.А. Боринской. Изд. 2-е. – М.: ЛКИ, 2010. – 368 с.
9. Материалы Второй всероссийской междисциплинарной конференции «Социофизика и социоинженерия». – М.: ИПУ РАН. – 2018. URL: http://soc-phys.ipu.ru (18.11.2018).
10. Пригожин И. Конец определенности. Время, хаос и новые законы природы / Пер. с англ. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 208 с.
11. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. К решению парадокса времени / Пер. с англ., Изд. 5-е испр. – М.: Едиториал УРРС, 2003. – 240 с.
12. Кант И. Критика чистого разума. Пер. с нем. Н. Лосского. – М.: Эксмо, 2013. – 736 с.
13. Гегель Г. Наука логики. В 3-х томах. – М.: Мысль, Т.1, 1970: 501 с., Т.2, 1971: 248 с., Т.3, 1972: 371 с.
14. Зак С.Е. Принципы и основные законы материалистической диалектики. Уч. пос. – М.: Вс. шк., 1974. – 176 с.
15. Поппер К. Что такое диалектика? // Вопросы философии. 1995, № 1. – С. 118–138.
16. Борн М. Физика в жизни моего поколения. – М.: Изд. ин. лит-ры, 1963. – 536 с.
17. Рейхенбах Г. Направление времени: Пер. с англ. Изд. 2-е стереотипное. – М.: Едитриал УРРС, 2003. – 360 с.
18. M. Kac & J. Logan, Fluctuation Phenomena, eds. E.W. Montroll & J.L. Lebowitz, North-Holland, Amsterdam, 1976.
19. Nelson E., Quantum Fluctuations. Princeton, Princeton University Press, 1985, 67 p.
20. Аверин Г.В. Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с. URL: http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17840 (18.11.2018).
21. Звягинцева А.В. Вероятностные методы комплексной оценки природно-антропогенных систем / Под ред. Г.В. Аверина. – М.: Спектр, 2016. – 257 с. URL: http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17837 (05.11.2018).
22. Аверин Г.В., Константинов И.С., Звягинцева А.В. О континуальном подходе к модельному представлению данных // Вестник компьютерных и информационных технологий, №10. 2016. – С. 47–52.
23. Звягинцева А.В. Теоретические основы событийной оценки состояния и развития урбанизированных территорий. Дис. … доктора техн. наук: 05.13.01 / НИУ «БелГУ». – Белгород, 2018. – 486 с. URL: http://dekanat.bsu.edu.ru/f.php//1/disser/case/filedisser/filedisser/1307_Zviagintseva_diss.pdf (10.11.18).
24. Аверин Г.В. О некоторых феноменологических закономерностях биологической жизни // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, 2016, №1(10)–2(11). – С. 11–31.
25. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. О справедливости принципа соответственных состояний для систем различной природы // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Экономика. Информатика №16(265), вып. 43. 2017. – С. 104–112. URL: http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/21056 (10.11.2018).
26. Аверин Г.В., Звягинцева А.В., Швецова А.А. О подходах к предсказательному моделированию сложных систем // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Экономика. Информатика. Том 45, №1. 2018. – С. 140–148.
27. Ехилевский С.Г., Аверин Г.В., Константинов И.С., Звягинцева А.В. Феноменологические соотношения для континуальных пространств состояний систем различной природы // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Экономика. Информатика, №23(272), вып. 44. 2017. – С. 139–147.
28. Машинное обучение, распознавание образов и интеллектуальный анализ данных. – Профессиональный информационно-аналитический ресурс. URL: http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php (18.11.18).
29. Робертс Д. Теплота и термодинамика / Пер. с англ. под ред. Вукаловича М.П. – М.: Изд. технико-теор. лит-ры, 1950. – 592 с.
30. Кирилин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Энергия, 1974. – 448 с.
31. Гухман А.А. Об основаниях термодинамики. – М.: Энергоатомиздат, 1986.– 383 с.
32. Аверин Г.В. О принципе существования и законе возрастания энтропии в свете общесистемных представлений системодинамики

// Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, 2015, №1(8)–2(9). – С. 15–44.
33. AnAge: The Animal Ageing and Longevity Database. Available at: http://genomics.senescence.info/species/ (accessed November 10, 2018).
34. Астрометрические звездные каталоги. – URL: www.astro.spbu.ru/ (15.11.2018).
35. База данных Федеральной службы государственной статистики. Регионы России. Социально-экономические показатели. URL: https://www.gks.ru/free_doc/new_site/region_stat /sep_region.html (10.11.2018).
36. Швецова А.А. Эконометрическое обеспечение стратегического планирования устойчивого развития регионов Российской Федерации: автореф. дис. … канд. эконом. наук: 08.00.13 / Швецова Анжела Александровна. Белгород, 2018. – 32 с.
37. База данных Федеральной службы государственной статистики. Основные социально-экономические показатели городов. URL: https://www.gks.ru/free_doc/new_site/region_stat/sep_region.html (10.11.2018).
38. База данных Программы развития ООН (1990–2018 гг.). URL: http://hdr.undp.org/en/data (10.11.2018).
39. Borodkin L.I. and Koval'chenko I.D. Two Paths of Agrarian Evolution in European Russia: An Essay in Multivariate Analysis. In: *Russian Review*. Vol. 47. 1988, no 4: 391–408.
40. Аверин Г.В. О вероятностной природе смыслов в дискретных языковых единицах // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, 2017, №1(12)–2(13). – С. 11–18. URL: http://sait.csm.donntu.org/ (10.11.2018).
41. Мамчур Е.А., Овчинников Н.Ф., Уемов А.И. Принцип простоты и меры сложности. – М.: Наука, 1989. – 304 с.

References (transliteration)

1. Mathematical modeling of collective behavior in socio-economic and life sciences / G. Naldi, L. Pareschi, G. Toskani (eds.). Berlin, Springer, 2010, 438 p.
2. Slovohotov Ju.L. Fizika i sociofizika [Physics and social physics]. Ch. 1–3. *Problemy upravlenija*, 2012, no 1: 2–20, no 2: 2–31, no 3: 2–34. (in Russian).
3. Econophysics and sociophysics: trends and perspectives / B.K. Chakrabarti, A. Chakraborti, A. Chatterie (eds.). Berlin, Wiley-VCH, 2006, 622 p.
4. Encyclopedia of complexity and systems science / R.A. Meyers (Editor-in-chief). Berlin, Springer, 2009, 10370 p.
5. Newman M.E.J. Complex systems: a survey // Amer. J. Phys., 2011, Vol. 79: 800–810. Available at: https://arxiv.org/pdf/1112.1440.pdf (accessed November 5, 2018).
6. Vajdlih V. Sociodinamika: Sistemnyj podhod k matematicheskomu modelirovaniju v social'nyh naukah [Sociodynamics: Systematic perspective to mathematical modeling in the social sciences] / Per. s angl. Issue 3. Moscow, Librokom, 2010, 480 p. (in Russian).
7. Davydov A.A. Sistemnyj podhod v sociologii: novye napravlenija, teorii i metody analiza social'nyh system [System approach in socialogy: new directions, theories and methods of analysis of social systems]. Moscow, URSS, 2005, 328 p. (in Russian).
8. Turchin P.V. Istoricheskaja dinamika. Na puti k teoreticheskoj istorii [Historical dynamics. On the way to theoretical history]. Per. s angl / Pod red. G.G. Malineckogo, A.V. Podlazova, S.A. Borinskoj. Issue 2. Moscow, LKI, 2010, 368 p.
9. Materialy Vtoroj vserossijskoj mezhdisciplinarnoj konferencii "Sociofizika i socioinzhenerija" [Materials of the Second all-Russian interdisciplinary conference "Sociophysics and socioengineering"]. Moscow, IPU RAN, 2018. Available at: http://soc-phys.ipu.ru (accessed November 18, 2018). (in Russian).
10. Prigozhin I. Konec opredelennosti. Vremja, haos i novye zakony prirody [End of certainty. Time, chaos, and new laws of nature] / Per. s angl. Izhevsk, NIC "Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika", 2000, 208 p.
11. Prigozhin I., Stengers I. Vremja, haos, kvant. K resheniju paradoksa vremeni [Time, chaos, quantum. To solve the time paradox] / Per. s angl., Issue 5. Moscow, Editorial URRS, 2003, 240 p.
12. Kant I. Kritika chistogo razuma [The critique of pure reason]. Per. s nem. N. Losskogo. Moscow, Jeksmo, 2013, 736 p. (in Russian).
13. Gegel' G. Nauka logiki. V 3-h tomah [Science of logic. There are 3 volumes]. Moscow, Mysl', Vol. 1, 1970: 501 p., Vol. 2, 1971: 248 p., Vol. 3, 1972: 371 p. (in Russian).
14. Zak S.E. Principy i osnovnye zakony materialisticheskoj dialektiki [Principles and basic laws of materialistic dialectics]. Uch. pos. Moscow, Vs. shk., 1974, 176 p. (in Russian).
15. Popper K. Chto takoe dialektika? [What is dialectics?]. *Voprosy filosofii*. 1995, no 1: 118–138. (in Russian).
16. Born M. Fizika v zhizni moego pokolenija [Physics in the life of my generation]. Moscow, Izd. in. lit-ry, 1963, 536 p. (in Russian).
17. Rejhenbah G. Napravlenie vremeni [Direction of time]: Per. s angl. Issue 2 stereotipnoe. Moscow, Editrial URRS, 2003, 360 p.
18. M. Kac & J. Logan, Fluctuation Phenomena, eds. E.W. Montroll & J.L. Lebowitz, North-Holland, Amsterdam, 1976.
19. Nelson E., Quantum Fluctuations. Princeton, Princeton University Press, 1985, 67 p.
20. Averin G.V. Sistemodinamika [Systemdynamics]. Doneck, Donbass, 2014, 405 p. Available at: http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17840 (accessed November 18, 2018). (in Russian).
21. Zviagintseva A.V. Verojatnostnye metody kompleksnoj ocenki prirodno-antropogennyh sistem [Probabilistic Methods of a Complex Assessment of Natural and Anthropogenic Systems] / Pod red. G.V. Averina, 2016.

Moscow, Spektr, 257 p. Available at: http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17837 (accessed November 5, 2018). (in Russian).
22. Averin G.V., Konstantinov I.S., Zviagintseva A.V. O kontinual'nom podhode k model'nomu predstavleniju dannyh [About continual approach to model data presentation]. *Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij*, no 10. 2016: 47–52. (in Russian).
23. Zviagintseva A.V. Teoreticheskie osnovy sobytijnoj ocenki sostojanija i razvitija urbanizirovannyh territorij [Theoretical bases of event-based assessment of the state and development of urbanized territories] . Dis. … doktora tehn. nauk: 05.13.01 / NIU "BelGU". Belgorod, 2018, 486 p. Available at: http://dekanat.bsu.edu.ru/f.php//1/disser/case/filedisser/filedisser/1307_Zviagintseva_diss.pdf (accessed November 10, 2018). (in Russian).
24. Averin G.V. O nekotoryh fenomenologicheskih zakonomernostjah biologicheskoj zhizni [On some phenomenological regularities of biological life]. *Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve*, 2016, no 1(10)–2(11): 11–31. (in Russian).
25. Averin G.V., Zviagintseva A.V. O spravedlivosti principa sootvetstvennyh sostojanij dlja sistem razlichnoj prirody [On justice of the principle of corresponding conditions for various systems]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Jekonomika. Informatika,* no 16(265), Issue 43. 2017: 104–112. Available at: http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/21056 (accessed November 10, 2018). (in Russian).
26. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Shvecova A.A. O podhodah k predskazatel'nomu modelirovaniju slozhnyh sistem [On approaches to predictive modeling of complex system]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Jekonomika. Informatika*. Vol. 45, no 1. 2018: 140–148. (in Russian).
27. Ehilevskij S.G., Averin G.V., Konstantinov I.S., Zviagintseva A.V. Fenomenologicheskie sootnoshenija dlja kontinual'nyh prostranstv sostojanij sistem razlichnoj prirody [Phenomenological relations for the continual state spaces in various nature systems]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Jekonomika. Informatika,* no 23(272), Issue 44. 2017: 139–147.
28. Mashinnoe obuchenie, raspoznavanie obrazov i intellektual'nyj analiz dannyh. – Professional'nyj informacionno-analiticheskij resurs [Machine learning, image recognition, and data mining. – Professional information and analytical resource]. Available at: http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php (accessed November 18, 2018). (in Russian).
29. Roberts D. Teplota i termodinamika [Heat and thermodynamics] / Per. s angl. pod red. Vukalovicha M.P. Moscow, Izd. tehniko-teor. lit-ry, 1950, 592 p.
30. Kirilin V.A., Sychev V.V., Shejndlin A.E. Thenicheskaja termodinamika [Technical thermodynamics]. Moscow, Jenergija, 1974, 448 p. (in Russian).
31. Guhman A.A. Ob osnovanijah termodinamiki [On the foundations of thermodynamics]. Moscow, Jenergoatomizdat, 1986, 383 p. (in Russian).
32. Averin G.V. O principe sushhestvovanija i zakone vozrastanija jentropii v svete obshhesistemnyh predstavlenij sistemodinamiki [On the principle of existence and the law of increase of entropy in the context of general-system representations of a systemdynamics]. *Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve*, 2015, no 1(8)–2(9): 15–44. (in Russian).
33. AnAge: The Animal Ageing and Longevity Database. Available at: http://genomics.senescence.info/species/ (accessed November 10, 2018).
34. Astrometricheskie zvezdnye katalogi [Astrometric star catalogs]. Available at: www.astro.spbu.ru/ (accessed November 15, 2018).
35. Baza dannyh Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki. Regiony Rossii. Social'no-jekonomicheskie pokazateli [Database of the Federal State Statistics Service. The Russian regions. Socio-economic indicators]. Available at: https://www.gks.ru/free_doc/new_site/ region_stat/sep_region.html (accessed November 10, 2018).
36. Shvecova A.A. Jekonometricheskoe obespechenie strategicheskogo planirovanija ustojchivogo razvitija regionov Rossijskoj Federacii [Econometric support for strategic planning of sustainable development of regions of the Russian Federation]: avtoref. dis. … kand. jekonom. nauk: 08.00.13 / Shvecova Anzhela Aleksandrovna. Belgorod, 2018, 32 p.
37. Baza dannyh Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki. Osnovnye social'no-jekonomicheskie pokazateli gorodov [Database of the Federal State Statistics Service. Main socio-economic indicators of cities]. Available at: https://www.gks.ru/free_doc/new_site/region_stat/sep_region.html (accessed November 10, 2018).
38. Baza dannyh Programmy razvitija OON (1990–2018 gg.) [UN development Programme database (1990–2018)]. Available at: http://hdr.undp.org/en/data (accessed November 10, 2018).
39. Borodkin L.I. and Koval'chenko I.D. Two Paths of Agrarian Evolution in European Russia: An Essay in Multivariate Analysis. In: *Russian Review*. Vol. 47. 1988, no 4: 391–408.
40. Averin G.V. O verojatnostnoj prirode smyslov v diskretnyh jazykovyh edinicah [On the stochastic nature of meanings in the discrete language units]. *Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve*, 2017, no1(12)–2(13): 11–18. Available at: http://sait.csm.donntu.org/ (accessed November 10, 2018). (in Russian).
41. Mamchur E.A., Ovchinnikov H.F., Uemov A.I. Princip prostoty i mery slozhnosti [The principle of simplicity and complexity measures]. Moscow, Nauka, 1989, 304 p. (in Russian).

Аверін Г.В. «Природничо-наукові методи в філософії: про принципи математичного моделювання в діалектиці». *Майбутнє теорій моделювання при описі процесів і явищ у природі та суспільстві пов'язано з тенденцією переходу від якісних моделей до кількісних. Можливість використання природничо-наукових і математичних методів в філософії дуже часто викликає у представників цієї науки формальні сумніви і заперечення. Те, що природничі науки не можуть поки охопити багато областей знань, які історично належать до філософії, пов'язано з відсутністю систематизованих емпіричних даних, що дозволяють провести формалізацію понять і задач й сформулювати вихідні принципи і закономірності для побудови прикладних теорій. У цієї роботі ідея загального підходу при моделюванні систем різної природи пов'язана з математичним описом багатовимірних просторів станів таких систем і використанням масивів даних спостережень, які представлено в єдиній структурованій темпоральній (тимчасовій) формі. У статті робиться спроба застосувати цю ідею до формалізації деяких положень і категорій діалектики, як науки про загальні закони руху та розвитку природи і суспільства. Формулюються загальносистемні принципи і гіпотези, які можуть бути використано при єдиному описі станів об'єктів і систем. Викладено основні положення теорії та метод пошуку закономірностей і залежностей для практичних застосувань. Запропоновано загальну методику отримання рівнянь станів і системно-феноменологічних співвідношень для опису різних класів об'єктів і дана характеристика відповідних етапів процесу моделювання. На конкретних прикладах моделювання фізико-хімічних систем, біологічних об'єктів, соціально-економічного стану країн, регіонів і міст, аналізу історичних та семантичних даних тощо продемонстрована можливість побудови математичних моделей на підставі запропонованого загальносистемного підходу. Показано, що природничо-наукові методи і принципи математичного моделювання можуть бути введені в логічну структуру діалектики і дозволяють отримати прикладні моделі для системного опису властивостей природи і суспільства.*

Ключові слова: діалектика, об'єкти різної природи, природничо-наукові методи і принципи математичного моделювання, моделі опису емпіричних даних, приклади побудови моделей.

Averin G.V. "Natural-science method in philosophy: on the principles of mathematical modeling in dialectics". *The future of modeling theories in describing processes and phenomena in nature and society is associated with the trend of transition from qualitative to quantitative models. The possibility of usage natural-science and mathematical methods in philosophy very often causes formal doubts and objections among representatives of this science. The fact that natural-sciences until cann't cover many areas of knowledge historically related to philosophy is due to the lack of systematic empirical data that allow for the formalization of concepts and tasks and formulate the initial principles and laws for the construction of applied theories. In this paper, the idea of a general approach to modeling systems of different nature is associated with the mathematical description of multidimensional state spaces of such systems and the use of arrays of observational data presented in a single structured temporal (time) form. The article attempts to apply this idea to the formalization of some provisions and categories of dialectics as a science of universal laws of movement and development of nature and society. System-wide principles and hypotheses are formulated that can be used in a unified description of the States of objects and systems. The basic provisions of the theory and the method of finding patterns and dependencies for practical applications are presented. The general method of obtaining equations of states and system-phenomenological relations for the description of different classes of objects is proposed and the characteristic of the corresponding stages of the modeling process is given. The possibility of constructing mathematical models on the basis of the proposed system-wide approach is demonstrated by specific examples of modeling of physical and chemical systems, biological objects, socio-economic and environmental conditions of countries, regions and cities, analysis of semantic data, etc. It is shown that the natural-science methods and principles of mathematical modeling can be introduced into the logical structure of dialectics and allow to obtain applied models for the system description of macroscopic properties of nature and society.*

Keywords: dialectics, objects of different nature, natural-science method and principles of mathematical modeling, models of empirical data description, examples of model construction.

Статья поступила в редакцию 20.11.2018
Рекомендована к публикации проф. А.Я. Аноприенко

Ссылка для цитирования статьи
For citation

Аверин Г.В. Естественнонаучные методы в философии: о принципах математического моделирования в диалектике // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(14)–2(15). 2018. – С. 11–44.

Averin G.V. 2018. Natural-science method in philosophy: on the principles of mathematical modeling in dialectics. *System analysis and information technology in environmental and social sciences,* no.1(14)–2(15): 11–44. (in Russian).

УДК 111 + 165

О многозначности онтологии и неоднозначности ее объекта

Волошин В.В.
Донецкий национальный университет
v.v.don7ff@gmail.com

Волошин В.В. «О многозначности онтологии и неоднозначности ее объекта». *Анализируются причины многозначности трактовок онтологии в современной философии и науке. Обосновывается тезис: полисемия детерминирована редукцией онтологии к эпистемологии и, как следствие, имеет, в том числе, лингвистическую природу. Неоднозначность объекта онтологии – не в самой реальности, а в знаниях о ней – релятивных, неполных, сконструированных. Аргументируется положение: плюрализм онтологий – следствие конкуренции научных картин мира. Их формирование идет в русле смены парадигм в естествознании, математике, логике. Акцентируется внимание на том, что субъект познания неизбежно привносит в онтологию антропный фактор. Делается вывод: метафизика не устранима ни из философской онтологии бытия, ни из научной онтологии реальности. Трансформация современной онтологии осуществляется путем вытеснения субстанционального мышления модальным мышлением. Результатом работы последнего являются эвристические теории возможных миров, имеющие ряд инновационных приложений. В комплексе эти теории пока не могут претендовать на статус когерентной, структурированной, общезначимой программы, обладающей онтологическим и гносеологическим ядром.*

Ключевые слова: метафизика, онтология, эпистемология, реальность, возможные миры.

Введение

«Онтология» – ключевой философский термин, важный элемент научного концептуального каркаса. Онтология – философская рефлексия над миром как целостной структурой, постижение способов бытия объектов – элементов этой структуры. Онтология – учение о том, что и как существует, может существовать и не может существовать никогда. Столь универсальные определения мало о чем говорят конкретно, хотя и уместны на страницах учебника или во время вводной лекции по философии.

Философия постигает бытие вообще, условия и параметры существования, закономерности сущностных трансформаций, единство Универсума в многообразии атрибутов и форм. Философии мало ответить на вопрос «Что есть?». Она желает большего. Что в мире есть в принципе и как это возможно? Все ли «есть» равнозначны? Может ли быть чем-то, то, чего нет? Почему существует нечто, а не ничто? (Г. Лейбниц). Современная наука радикальным образом изменила представления об объекте онтологии, фиксируемом с помощью неоднозначного и таинственного понятия «реальность». Философия не могла не реагировать на внешние вызовы. Если физики продолжают собирать «зоопарк» элементарных частиц, то философы пытаются «приручить» и систематизировать новые уровни и формы реальности, открываемые в программах локальных, прежде всего естественнонаучных онтологий.

Одна из главных проблем философии, которую предполагал решить еще И. Кант, формулировалась им так: «Что я могу знать?». В конце прошлого века Д. Деннет укажет на два вопроса, предполагающих синхронный ответ: «первый вопрос – о том, что существует, об онтологии, говоря философски; второй – о нашем знании, об эпистемологии и отвечать нужно сразу на оба вопроса» [1, с. 10]. Когда ставится ударение на местоимение *«что?»* – перед нами онтологическая проблема. Если на глаголе *«знать»* – мы попадаем в сферу интересов эпистемологии. Но провести четкую демаркацию не просто.

Цель статьи – исследовать факторы, обусловившие содержательную многозначность современной онтологии и проанализировать направления ее трансформации в контексте изменений представлений о реальности.

Несколько уточнений. Раздел философии, изучающий знание и динамику его формирования, имел множество наименований – исследование познания, критика разума, анализ ума, философия познания. Наибольшее распространение получили три термина – «теория познания», «гносеология», «эпистемология». В русскоязычной учебной литературе доминируют два первых, в современной академической философии чаще используется последний. Иногда его применяют только в отношении научного познания. И, не случайно, «эпистемэ» – с древнегреческого – достоверное знание.

Считаем эти термины синонимами. Интересно, что слово «эпистемология» получило распространение после публикации сочинения шотландца Дж. Ферье с весьма знаковым названием – «Основы метафизики: теория знания и бытия» (1854). Оставляем за скобками 1) онтологию сознания и его феноменального качественного аспекта – квалиа; 2) попытки редукции онтологических проблем к вопросам теологии, аксиологии, психологии; 3) иррациональные трактовки бытия (А. Шопенгауэр, А. Бергсон, О. Шпенглер и т. д.). В тоже время, имеем в виду, что «тайный анропологизм всякой онтологии» (О.Е. Столярова) имеет место априори.

Онтология бытия и онтология реальности

Синонимом к слову «онтология» нередко считают «метафизику» – концепт, имеющий долгую и сложную историю. Понятие «метафизика» не является эксплицитным и не имеет общепризнанной дефиниции. Под метафизикой понимаем все то, что, находится над внешним и внутренним опытом; это чистая априорность, максимальная форма рефлексии, квинтэссенция универсальных принципов учения о первоосновах, «попытка охватить мир как целое посредством мышления» (Б. Рассел). В сумме получаем финитную область смыслов, постижения «общих черт структуры мира и методов проникновения в эту структуру» (М. Борн). «Метафизика занимает особое место в системе знаний: ее понятия предназначены не для доказательств (этим занимается математика или физика), а для осмысления достигнутых результатов и направлений дальнейших исследований» [2, с. 550].

По содержанию метафизика превосходит онтологию, последняя находится в отношении подчинения к первой. Метафизика – это не только обобщения, полученные на проблемных полях онтологии и теории познания. Здесь присутствуют витальные ориентиры, ценностные константы, нормативные постулаты, имеют место ответы на вопрос «зачем?» вне координат экспериментальной науки. Такие основания можно определить как ментальные конструкты, выходящие за пределы эмпирически доступного, исторически данного, профанного бытия. Метафизика не открывает естественнонаучных законов, однако благодаря ней, ученый расширяет когнитивный горизонт, преодолевая номологию и деонтологию рациональности и выходя на уровень эйдетического, трансцендентного. Длившаяся десятилетиями дискуссия о природе реальности между А. Эйнштейном и Н. Бором – тому пример [3]. «Познание предполагает трансцендирование познающего за пределы познаваемого. <…> Природные миры не способны к трансцендированию, но они создают возможность познания себя, обладая способностью к размножению в онтологически разные регионы» [4, с. 139].

Разумеется, без апелляций к физической реальности, без обращения к естествознанию, метафизика рискует превратиться в псевдонаучную спекуляцию, манипулирование красивыми словами. «Не следует привлекать новые сущности без крайней на то необходимости» (У. Оккам). Этому призыву следуют сторонники натурализма. Они полагают, что бытие исчерпывается тем, что фактически дано и доступно опыту. Трансцендентализм, в свою очередь, уходит в сферу непостижимого: организующее начало мира *инобытийно* и находится за его пределами, там, где законы природы не работают.

С точки зрения неопозитивистов, поиски «абсолютной реальности» или «трансцендентного бытия» – бессмысленны. М. Шлик сводит метафизичность к психологизму: «Если кто-то уверяет, что существует мир в сверхэмпирическом смысле, то ему кажется, что он сообщает некоторую истину о мире, но его слова выражают совершенно иное, а именно, наличие у него определенного эмоционального состояния» [5, с. 306–307]. Однако в утверждении «человек адекватно отражает материальный мир таким, каким он его чувственно воспринимает», больше психологизма, чем физикализма, да и понятие «адекватность» сложно отнести к эмпирическим, измеряемым терминам. Цель познания, считает Шлик, в однозначном описании максимума фактов с помощью минимального количества знаков. Но с помощью чего это описание осуществляется и что такое «знак»? Почему смысл вообще должен быть эмпирическим, а не эйдетическим? «Онтология – наука о бытии. Нет никакого бытия вне эйдоса. То, что мы говорим и мыслим о бытии, и есть эйдос. <…> То, что необходимо конструируется в мысли-слове как неизбежный результат его саморазвития, то и есть само бытие» [6, с. 181–182]. Метафизика раннего А. Ф. Лосева видится не менее рациональной, чем логический эмпиризм Венского кружка. С. Вайнберг заметил, что наибольшие затруднения современной физике причиняет не метафизика, а эпистемология – учение о природе и источниках знания, в его позитивистском варианте [7, с. 137].

Когнитивный потенциал метафизики не стоит преуменьшать. «Невообразимо трудно, может быть совершенно невозможно, представить себе понятным образом полное *исключение* метафизики даже в рамках самой узкой специальной области любой науки» [8, с. 11]. И хотя метафизика, считает Э. Шредингер, не является частью «здания науки», без нее не обойтись при постройке этого «здания». Создатель волновой механики сетует: «Требование – все трансцендентное должно исчезнуть – не может быть последовательно проведено в *теории познания*, т. е. именно в той области, для которой этот тезис и предназначался в первую очередь. Причина заключается в том, что мы не можем обойтись здесь без путеводной нити метафизики» [8, с. 16].

Уже в формате обыденного сознания обнаруживается тривиальная мысль: Млечный путь и чашка с чаем на столе, фотон и вирусная инфекция, зубная боль и хорошее настроение, химическая формула и косинус угла, герой прочитанной книги и персонаж компьютерной игры – существуют *по-разному*. Бытийные «атомы» появляются, трансформируются, исчезают. Находятся где-то и когда-то. Или нигде и везде, как, например, объекты математики. Они «живут» сами по себе, независимо от нас. Либо в созданных человеком мифах, научных теориях, романах, кинокартинах. Одновременно все эти объекты – части Универсума. Возможно, это и есть платоновский Универсум эйдосов. Так, или иначе, то, что связывает *все* элементы мира в целостность – *метафизично*.

В.К. Шохин считает, что рассмотрение сущего может осуществляться не только в ракурсе оппозиции феноменальное/ноуменальное. Он отказывается «идентифицировать онтологию как «учение о бытии», ибо это учение «соответствует лишь одной из двух исходных точек «наблюдения» сущего, а не единственно возможной» [9, с. 17]. Шохин обнаруживает две онтологию – *реальности* и *бытия*. В первой, сущее рассматривается не «само по себе», а в отношении к субъекту познания и «в аспекте эксплицитной и однонаправленной квантитативности». Наименьшее «количество» отводится фантомным (имагинативным) объектам. Промежуточное – объектам общечеловеческого опыта, максимальное – «по-разному понимаемому пределу этого опыта, имеющему признаки по-разному понимаемого абсолюта». Признаки данной онтологии – «необходимое единство субъектного и релятивно-квантитативного измерений», а также «стратификация уровней реальности» [9, с. 17]. Во второй онтологии, сущее рассматривается безотносительно к субъекту познавательного опыта. Историко-философское конструирование ярусов бытия осуществляется здесь в рамках логических, формалистических и метафизических классификаций. Вертикальные уровни сущего-бытия не обязательно должны быть однонаправленными и квалифицированными. Мы имеем дело скорее с «иерархизацией рангов сущего», хотя можно обойтись и без «табели о рангах». Онтология бытия предшествует онтологии реальности, ибо «философский поворот к субъекту оказывается возможным только при неудовлетворенности «реистической» («вещной» – В. В.) картиной мира» [9, с. 18–20].

Оставив терминологию В. К. Шохина, позволим себе, следуя принципу простоты, вольную интерпретацию его глубоких рассуждений. Онтологию реальности, максимально ориентированную на эмпирию и минимально на спекулятивные умозрения, можно считать научной. «Релятивно-квантитативные измерения» группируются в региональных (дисциплинарных) онтологиях. Как отмечают В.В. Афанасьева и Н.С. Анисимова, «построение единой естественнонаучной картины мира, призванное заменить философскую онтологию, столкнулось с целым рядом трудностей, прежде всего с проблемой единства научного знания» [10, с. 29]. Постнеклассическая онтология (появился уже и такой термин) вынуждена учитывать образовавшуюся пропасть между философией и естествознанием, ориентируясь на новые реалии, а именно: «Мир изменчив, сложен и множественен: нелинеен, хаотичен, фрактален, полионтичен – но един в своей изменчивости, сложности и множественности» [10, с. 31]. Нельзя не отметить, что приписываемые миру предикаты – сущности скорее эпистемологические, чем онтологические, ибо отражают аномалии научного знания.

Философия, в свою очередь, продолжает «курировать» традиционную онтологию бытия, метафизически ориентированную. Нужно признать, что современная философия бытия сдает позиции перед научными картинами мира. Последней успешной попыткой ее «спасения» от сциентизма была фундаментальная онтология М. Хайдеггера. «Гносеологизация онтологических проблем вытеснила на периферию исследовательского интереса традиционную онтологическую тематику. Больше того, построение онтологических моделей универсума стало делом конкретных наук» [4, с. 131].

С другой стороны, «реистические» научные картины мира обречены на аномалии, парадоксы, противоречия, истинностные провалы. И тогда носители этих картин обращаются к философии, ее опыту трансцендирования, эйдетическому видению, финитным смыслам.

С. Вайнберг без обиняков описывает положение дел в начале нового тысячелетия: «У каждого физика есть какая-то рабочая философия. Для большинства из нас – это грубый, прямолинейный реализм, т. е. убежденность в объективной реальности понятий, используемых в наших научных теориях. Однако эта убежденность достигается в процессе научных исследований, а не в результате изучения философских трудов. Все сказанное совсем не означает отрицания ценности философии, основная часть которой не имеет никакого

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

отношения к науке. Более того, я не собираюсь отрицать и ценность философии науки, которая в лучших своих образцах представляется мне приятным комментарием к истории научных открытий. Но не следует ожидать, что философия науки может дать в руки современных ученых какое-то полезное руководство на тему о том, как надо работать или, что желательно было бы обнаружить» [7, с. 131–132]. Для философии ситуация тревожная, но не безнадежная. Ей остается смириться и может быть не ограничиваться только «приятными комментариями». Тем более что «прямолинейный реализм» физики весьма уязвим, а «объективная реальность понятий», оказавшихся в цепких объятьях онтологии и языка, предстает релятивной и вероятностной.

Онтология и язык в аналитической философии

Знаки и слова, с помощью которых объекты представлены в нашем сознании и языке, тоже *бытийствуют*. Все ли знаки и слова способны «ухватиться» за реальность, указывая на объекты, имеющие независимый от ментального мира субъекта референт? Как существуют референты слов «эпоха Возрождения», «мгновение», «здесь», «материальная точка», «комплексное число»? На какие сущности указывают понятия «сакральное», «благоговение», «долг», «ирония, «красота»? Онтология тесно связана с языком. Результатом такой связи является «концептуальной каркас», представляющий собой, с одной стороны, ансамбль согласованных, непротиворечивых идей и смыслов, принявших понятийную форму, с другой – локальную упорядоченную языковую систему (концептуальную схему), в формате которой можно осмысленно вести речь о существовании объектов.

Язык – «дом бытия», набор шаблонов и матриц, с помощью которых человек 1) анализирует мир, фиксируя отношения и причинно-следственные связи; 2) строит «здание» своего сознания. Каждый язык выражает свою концептуальную схему. Выбор между схемами, по-разному истолковывающими реальность, обусловлен историко-культурными процессами и осуществляется исходя из прагматических соображений. Иметь концептуальный (языковый) каркас, значит вкладывать в слова некоторый смысл, видеть и именовать объект (класс, систему объектов) определенным образом. У И. Канта «трансцендентальная схема» – предтеча каркаса сциентистской философии – посредник между чувствами и рассудком, помогающий «применять категории к явлениям». Наиболее исчерпывающе тема «онтология и язык» представлена в аналитической философии, тесно связанной с нео- и постпозитивизмом. К ней мы и обращаемся.

Ключевыми положениями «Логико-философского трактата» – «библии» аналитической философии – являются афоризмы: «Границы моего языка суть границы мира» [11, 5.6.] и «Логика заполняет мир: пределы мира являются ее пределами» [11, 5.61.]. Л. Витгенштейн допускает в онтологию индивидуальные объекты, но не универсалии и отношения. «Мир есть факты в логическом пространстве» [11, 1.13.], «то, что имеет место – факт, – есть совокупность позиций» [11, 2.]. «Объекты образуют субстанцию мира. Вот почему они не могут быть составными» [11, 2.021.]. Мир у Витгенштейна, – совокупность только существующих позиций, в то время как реальность включает в себя и несуществующие (в т. ч. возможные) положения вещей. Следует признать, что поиски Л. Витгенштейном и его другом Б. Расселом соответствия между структурой физической реальности и логической структурой адекватного языка являются по сути эпистемологическими проектами.

Г. Фреге включает в свою онтологию не только человека и объекты природы, но и истинностные значения, классы, числа, функции, объективные «смыслы». Дабы онтология была «чистой», считает Фреге, язык, ее описывающий, должен выполнять исключительно репрезентативную функцию. На закате своей научной деятельности он формулирует концепцию «трех царств» – физических вещей, психических явлений, абстрактных объектов. «Онтологические идеи он дополнил и определенной гносеологической концепцией, которая главным образом касается вопроса познания человеком сущностей, принадлежащих к «третьему царству» [12, с. 22]. Позже К. Поппер тоже выделит в рамках своего научного реализма три «мира» или формы реальности – объективной физической (1), субъективного сознания (2), объективного знания (3). Мир 2 взаимодействует с миром 1 и производит мир 3, подвергаясь воздействию с его стороны. Объекты мира 3 – теории, проблемы, гипотезы и т. д. – могут действовать на мир 1 только посредством мира 2. Физическая реальность является основой миров 2 и 3, однако ее существование имеет смысл лишь в программе объективного знания. И это знание, заявляет Т. Кун – парадигмально. Тезис Куна – Фейерабенда не только наносит удар по эпистемологическому фундаментализму. Он релятивизирует онтологию. Согласно этому тезису, конкурирующие теории могут быть логически несоизмеримыми. Имея несовместимые концептуальные схемы и, соответственно, несопоставимые онтологии, теории обнаруживают разные проблемы, идут к их решению разными путями. «Универсальная теория должна иметь некоторую онтологию, которая детерминирует, что именно существует, и таким образом устанавливает область возможных фактов и сферу возможных вопросов» [13, с. 177].

П. Фейерабенд идет вслед за У. Куайном, который предлагает понимать под онтологией некоторую совокупность объектов, существование которых допускается той или иной теорией. Существовать, согласно его знаменитой формуле, значит быть значением связанной (квантифицированной) переменной. Номиналист и физикалист Куайн отрицает наличие каких-либо уровней бытия и/или модусов существования. Он считает, что достоверность знания предшествует существованию объекта познания. Это имплицирует идею онтологического обязательства: исследователь признает существующими те объекты, которые должны существовать, дабы теория была истинной. Следовательно, существующее – «это нечто постулируемое нами в целях получения концептуальной схемы, согласующейся с эмпирическими данными» [12, с. 97]. Согласно Куайну, «мы обязаны принимать только тех сущностей, постулируемых теорией, которые при переформулировке предложений теории с помощью аппарата современной математической логики составляют область значений связанных переменных в истинных квантифицированных предложениях» [12, с. 100].

Но теория нагружена еще и *идеологией*. Куайн пишет: «Соотношения онтологии теории и ее идеологии отнюдь не просты. Так, рассмотрим обычную теорию действительных чисел. Ее онтология исчерпывает область действительных чисел, но ее идеология – ряд особо выраженных идей – охватывает отдельные идеи только определенных действительных чисел. Ибо известно, что нет способа записи, адекватного отличительным характеристикам каждого действительного числа. С другой стороны, идеология также включает много идей, таких как сумма, корень, рациональность, алгебраичность и им подобные, которые не нуждаются в том, чтобы иметь какое-то онтологическое соответствие в области квантифицированных переменных данной теории. [14, с. 125]. Несомненно, онтология и идеология взаимосвязаны, но последняя не является частью первой и «не характеризует того, что существует с точки зрения теории, а характеризует выразимость свойств и отношений объектов онтологии» [15, с. 217]. В данном контексте неизбежно возникает вопрос об онтологическом статусе свойств и отношений.

У. Куайн модифицирует идеи Р. Карнапа, который рассуждая о «каркасе» (framework) приходит к фиксации интенсиональной и экстенсиональной онтологий. Карнап, из прагматических соображений, предлагает априори демаркировать внутренние эмпирические вопросы о существовании объектов внутри каркаса и внешние (собственно, онтологические) – о существовании задаваемых каркасом систем объектов в целом. Внутренние вопросы и ответы на них формулируются с помощью «резервов» самого каркаса. Вводу нового вида объектов предшествует формулировка правил образования и употребления суждений об этих объектах, а также апробация алгоритмов определения истинности рассуждений о системе, частью которой объект является. Внешний вопрос о реальности самого мира, считает Карнап, – не разрешим. «Быть реальным в научном смысле значит быть элементом системы; следовательно, это понятие не может осмысленно применяться к самой системе» [16, с. 302]. Доступ к миру (мирам) осуществляется посредством языка. Проблема существования тех или иных объектов сводится к конвенциональной приемлемости и практической значимости языкового каркаса. Причем, принятие какого-либо каркаса «не должно рассматриваться как подразумевающее какую-то метафизическую доктрину, касающуюся реальности рассматриваемых объектов» [16, с. 311]. Таким образом, онтология *конструируется* по правилам языкового каркаса и исследуется в программе логической семантики. И Карнап, и Куайн в качестве предмета лингвистической инженерии видят, прежде всего, абстрактные объекты. Поэтому нельзя, хотя бы в формате пропедевтики, не коснуться онтологии математики.

Демаркация направлений в философии математики проводится преимущественно на основе того или иного решения онтологической проблемы существования абстрактных объектов (разумеется, природа этических, эстетических или религиозных эйдосов математику не интересует). Платонизм, а с ним и математический реализм, исходят из независимого существования объектов математики, т. е. изначально погружаются в область метафизики. В конструктивной математике объект существует тогда, когда он «построен». Объяснение природы математических утверждений, ориентированное на теорию и практику математики как таковой, метафизику элиминирует. Но не снимает вопрос: если абстрактные понятия не имеют автономного необходимого существования, имеют ли они существование контингентное (случайное)? Не снимает его и знаменитое кантовское «бытие не есть реальный предикат, не есть понятие о чем-то таком, что могло бы быть прибавлено к понятию вещи», ибо одно дело, когда «вещь» в наличии и является нам, другое, – если она математический объект, эпистемический доступ к которому проблематичен. Остаются затруднения и при трактовке Г. Фреге существования как квантора (свойства свойств), и в логической парадигме теории

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

дескрипций Б. Рассела. Стоит ли вообще игнорировать метафизику, если включение в онтологию трансцендентных объектов увеличивает объяснительную силу теории? Тем более, если речь идет не только о математических структурах как таковых, но о синтезе математики и естествознания. Математика, будучи наукой об отношениях и «возможных мирах» (Г. Лейбниц), в принципе индифферентна и к природе, и к динамике вещей, событий, процессов. Однако если мы примем во внимание положение об онтологической первичности связей, отстаиваемое А. М. Анисовым, М. Тегмарком Я. В. Тарароевым и др., тайна объяснительной силы математики приоткроется. «Можно утверждать об онтологическом статусе категории «связь» поскольку это взаимодействие, в конечном итоге, порождает все известные нам формы и виды бытия и определяет и их существование, и их сущность» [17, с. 164]. Тогда можно допустить онтологию, в которой совокупность предикатов-связей конституируется исключительно субъектом познания.

«Непостижимая эффективность математики» может быть объяснена, в том числе, и с опорой на метафизику ненаблюдаемых сущностей. «Тогда введение абстрактных объектов ничем не отличается от введения в естественнонаучные теории теоретических объектов типа кварков, черных дыр и т. д. В этом смысле можно считать, как это делал У. Куайн, постулирование в математике множеств ничем не отличается от постулирования, скажем кварков в физике» [15, с. 68]. Множества можно рассматривать и как объект фоновой онтологии. С помощью последней заполняются «места» в некой структуре. Например, в футболе объектами фоновой онтологии являются мяч, ворота, газонная трава, вероятно, и футболисты. «Персонажами» фоновой онтологии, но уже без пространственно-временных характеристик как в примере с футболом, можно считать идеализированные объекты физики или космологии. Будучи фикциями, они аппроксимируют расчеты, способствуют формулировке зависимостей в «незамутненном» виде, упрощают коммуникацию между учеными. Т. е. они *существуют* как элементы теории.

Несмотря на сциентизм, аналитическая философия не ушла от метафизики. Ее «путеводной нитью» стал язык. Л. Б. Макеева обнаруживает в этой метафизике две тенденции. «Одна тенденция, которую можно обозначить как «лингвистическое кантианство», связана с признанием того, что язык, а стало быть, и мышление являются одним из «факторов», формирующих мир, в котором мы живем: именно этот мир мы познаем, именно с ним вступаем в каузальное взаимодействие, именно о нем высказываем свои истинные суждения. Другая тенденция выражает стремление аналитических метафизиков найти выход к объективной реальности как таковой и попытаться, учитывая всю сложность эпистемической ситуации, в которую помещены люди, ответить на вопрос, что мы можем знать о независимом от нас в онтологическом плане мире и почему мы можем рассчитывать на такое знание?» [12, с. 97]. Если в позитивизме рассуждения о «субстанциях» и «сущностях» объявлялись бесплодными, то в постпозитивизме метафизика бытия отчасти реабилитирована. И этому есть объяснение. Во-первых, язык естествознания, привязан к той или иной онтологии. В-вторых, наука немыслима без обращения к ненаблюдаемым сущностям (космологическая сингулярность, кварки и антикварки, бозон Хиггса т. д.). В-третьих, ученому не обойтись без идеализированных, гипотетических объектов, таких как идеальный газ, абсолютно черное тело, гравитон, тахион, белая дыра. Существование всего этого, мало чем отличается от существования трансцендентных объектов метафизики. Но есть важный нюанс: физик, например, *знает*, что тахионов *нет*.

Аналитическая философия представляет собой анализ «объективно существующих идеальных структур» (Я. В. Шрамко). Она исследует то, что К. Поппер назвал «третьим миром». Это мир автономных и самоорганизованных информационных ресурсов, а также конвенционально оформленных знаковых моделей, не избежавших влияния объективированных интеллектуальных интуиций. Онтология здесь конструируется с оглядкой на семантику. Аналитики видят свою задачу не в постижении мира, а в *анализе рассуждений о нем*. У них онтология зависима от языка и есть средство когнитивной деятельности, направленной на определение относительной истинности научных теорий. Конечно, мир существует объективно, но для познающих субъектов мир реален, только если они о нем могут что-то сказать. Концептуальный каркас определяет достоверность рассуждений о мире. В свою очередь, логический анализ корректирует эти рассуждения, придавая им когерентность и непротиворечивость.

О реальности и пролиферации онтологий

«Реальность» – отчасти метафизический концепт, что не мешает ему интуитивно восприниматься осмысленным, имеющим очевидный референт. Но только до тех пор, пока это понятие означает нечто наличное, вещно-фиксируемое, онтическое. Как только мы идем вглубь, к фундаментальному порядку бытия в многообразии его уровней и форм, «реальность» трансформируется в понятие атрибутивно не-определенное и даже избыточное. Минимальное по объему и содержанию чувственно-воспринимаемое *нечто* человек обобщает и гипостазирует вплоть до трансцендентного Реального-Единого. «*Реальное* предстает настолько аморфным и диффузным термином (а значит, фактически и не термином в собственном смысле слова), что с ним имеет смысл работать только вследствие его привычности и за неимением лучшего» [9, с. 12]. И, хотя «реальность» – это темное слово» (Б. Рассел), оно остается своего рода научным «семантическим примитивом». Замена его на другие понятия («наличное», «действительность», «существующее» и пр.) придает новые онтологические интонации, не упрощая объяснения. Но без опоры на реальность (и объектов ее «населяющих»), онтология потеряет смысл. Наконец, «если *позитивное* определение понятия реальности никак не дается, то можно предложить *негативное* определение реальности: в каждом частном случае мир реален, если существует хотя бы одна нереализованная возможность. Это точно так же, как с непротиворечивостью формальных систем: система непротиворечива, если существует хотя бы одно недоказуемое предложение» [18, с. 69].

В начале XXI в. на первый план вышли дискуссии между сторонниками онтологического реализма и конструктивизма. Первые считают, что внешний мир существует сам по себе, он предпослан человеку, материальные компоненты знания превалируют над теоретическими ресурсами, субъект *открывает* самодостаточный мир. Вторые исходят из того, что реальность *конструируется* в антропном коммуникационном пространстве. Мир (миры) – это множество доступных нам возможностей. Человек прагматически определяет, что считать существующим, а что – нет, принципиальное различие между реальными и идеализированными объектами отсутствует. Социальные конструкционисты стоят на позициях крайнего антиреализма. Они вообще не видят отличий между онтологией и эпистемологией, считая, например, что в создании бозона Хиггса участвовали не только физики-теоретики, технологи, инженеры, построившие суперколлайдер, но и «популяризаторы науки, корреспонденты газет и телевидения, все те, кто интерпретировал, истолковывал и пропагандировал открытие бозона» [19, с. 109]. Перед нами радикальный вариант анпропологизации науки с элементами ее маргинализации. Можно согласиться с тем, что гносеологическая точка зрения, по словам И. Т. Касавина, есть «анализ допустимых границ девиации» и «стратегия нового пути», но нецелесообразно социальную эпистемологию ставить на службу гносеологическому хаосу. Тезисы реализма – эпистемический (научные теории дают достоверное и проверяемое знание как о наблюдаемых, так и о ненаблюдаемых областях реальности) и семантический (объекты и их свойства обладают независимым существованием) подкреплены научными результатами. Хотя можно быть реалистом по отношению к теории, отрицая независимое существование объектов и наоборот. Сторонники реализма, со своей стороны, не могут не принимать во внимание (здесь конструктивисты правы), что реальность открывается через коллективную созидательную деятельность.

Против конструктивизма свидетельствует эффективно функционирующая научная номология. Ее релятивность и субъективизм жестко ограничены внешними параметрами. «Я жалую законам природы (по отношению к которым сегодняшние законы – всего лишь приближения) честь быть реальными. Такая точка зрения только укрепляется, когда оказывается, что некоторые законы природы совсем не такие, как мы о них думали» [7, с. 201]. Т. е. речь может идти о неполноте и неточности *нашего* видения законов природы, пусть и представленного в форме конструктов, но не об ошибочности *самих* законов, *открытых* человеком.

Реалисты и конструктивисты ищут компромиссы в пространствах эквивалентных теорий, по-разному объясняющих одну и ту же область реальности, идеализаций и допущения гипотетических сущностей, замещения онтологии объектов на онтологию взаимодействий и т. д. Какой бы не была реальность – объективно данной, относительной, извлекаемой посредством деятельности, непознаваемой вещью в себе, лежащей за пределами эмпирических возможностей человека, представленной в тех или иных познавательных формах и/или конструктах – она *есть*. Другое дело, каким образом, то, что *есть*, нам *является* и что представляет собой осмысленная информация о мире. Она обнаруживается или создается? Так или иначе, от реальности не избавиться, как ее не именуй. Реальность, будучи производной реистической субстанциональной онтологии, тем не менее, может быть репрезентирована в разных системах интенсиональных координат. Поэтому нет препятствий для пересмотра представлений о ней и даже признания существования ее копий, вариантов, ветвлений.

Альтернатив субстанциональной реистической онтологии – множество. У истоков одной из них – онтологии отношений – стоял Пифагор, связавший форму, вес, размер и гармонию единой нитью – числом. Мир как система отношений находит свое отражение и в философии Платона. Математику нередко трактуют как учение об идеальных отношениях, но как эти отношения типологизировать, «зацепив» за физическую реальность? Например, связь между математической симметрией фи-

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

зических законов и существованием инвариантных физических величин, установленная Э. Нетер, трактуется Ф. Вильчеком как подтверждение соответствия «Идеальное ↔ Реальное» и возводится им в ранг «математической теоремы» [20, с. 331]. Однако теоремам предшествуют аксиомы, но очевидного определения «реального» и «идеального» лауреат Нобелевской премии не дает. Сущность симметрии – изменение, независимо от того имеет оно место или нет (в формальной логике – отсутствующий признак – тоже признак объекта). «Идея о том, что в основе Природы *лежит* симметрия, стала доминировать в нашем восприятии физической реальности. Умозрительная идея о том, что симметрия определяет структуру – т. е. что кто-то может использовать высокие требования математического совершенства, чтобы прийти к небольшому перечню возможных реализаций, а потом воспользоваться этим списком как руководством по построению модели мира, – стала нашей путеводной звездой» [20, с. 64]. Однако «модель мира» трудно признать онтологическим термином, «математическое совершенство» – понятие с финитным смыслом; в философии бытия «изменение» известно как старое доброе «движение» – атрибут материи. Заменив онтологию вещей и присущих им свойств на онтологию взаимодействий, мы возвращаемся к онтологии бытия, с ее «перечнями» уровней, форм, типов, видов и прочих следствий традиционного классификационного мышления. Строя же модели мира человек идет к умножению сущностей, множественности миров и онтологий. В метафизичности физики невольно признается и С. Вайнберг: «Нарушенная симметрия – вполне платоновское понятие: та реальность, которую мы наблюдаем в наших лабораториях есть лишь искаженное отражение более глубокой и более красивой реальности уравнений, отображающих все симметрии теории» [7, с. 153].

Неклассическая физика радикально изменила представления о мире (например, частицы и силы есть проявления более глубокого уровня реальности – уровня квантовых полей), породив региональные онтологии. В них объекты конституируются преимущественно в парадигме отношений (взаимодействий). «Переход из одной региональной онтологии в другую можно интерпретировать как переход из одного пространства отношений к другому, в частности, с иной размерностью» [4, с. 142]. Хаббловский и планковский масштабы – несоизмеримы, а в зависимости от масштаба меняются и отношения между элементами структуры, а значит и сама структура (на это обратил внимание еще Г. Галилей).

Масштабирование – объективно, размерность – независимый маркер научной онтологии реальности. Однако формирование региональных (дисциплинарных, по терминологии Т. Куна) онтологий происходит и по причине смены мировоззренческих парадигм, включающих научную картину мира. «Понятия «региональной онтологии» и «дисциплинарной онтологии» имеют прежде всего гносеологическую нагрузку (онтологическая относительность У. Куайна). Однако в работах физиков, например, термин «модель множественных миров» интерпретируется чисто онтологически. Может ли философия в данном вопросе быть не менее смелой, чем наука?» [4, с. 132]. Вопрос, несомненно, риторический.

Пролиферация (размножение) онтологий происходит и на соизмеримых уровнях. Появляются субрегиональные онтологии. Р. Пенроуз обнаруживает, например, наличие шести онтологий, сложившихся в пространстве квантовой механики. Это 1) копенгагенская интерпретация, 2) множественность миров, 3) декогеренция, вызываемая окружением, 4) «согласованные истории» (Гриффитса, Олмеса, Гелл-Манна, Хартла); 5) волна-пилот; 6) новая теория с объективными **R** (где **R** – редукция квантового состояния, имеющее место, когда производится измерение; **R** противостоит детерминированному процессу унитарной эволюции – **U**) [21, с. 654, 657].

Но являются ли эти онтологии адекватными? Однозначного ответа нет. Р. Пенроуз, констатирует: «Сегодняшняя квантовая механика не обладает онтологией, заслуживающей доверия» [21, с. 716]. Он предлагает придерживаться онтологической позиции, «согласно которой квантовая реальность должна описываться матрицей плотности, а не волновой функцией чистого состояния» [21, с. 702]. Но эта позиция скорее эпистемологическая, чем онтологическая, ибо матрица плотности, хотя и способна поразительным образом предвидеть структуры объективного мира, есть *способ математического описания*. Выше Пенроуз подчеркивает, что «не существует однозначной онтологической интерпретации матрицы плотности как вероятностной смеси состояний (независимо от того, одинаковы собственные значения или нет)» [21, с. 676]. Что же это за реальность, которой как бы и не существует?

Объекты квантовой механики невозможно мыслить исключительно в программе актуального бытия. Их существование – сокрыто, имеет «имплицитный порядок» (Д. Бом). Корректно об этом «порядке» можно говорить только на языке математики (еще один реверанс в сторону Галилея). Знаменитое «Заткнись и считай!» Д. Мермина – девиз физиков-теоретиков, направленный, в том числе, против попыток онтологизации микромира. Тезис копенгагенской интерпретации – «Квантовый

Волошин В.В.
Донецкий национальный технический университет

формализм не выражает никакой реальности» – имеет немало сторонников. Этот тезис наносит удар по натурализму, признающему реальное существование только физических объектов. Однако натурализм не тождественный реализму. Антиреализм в отношении квантовых объектов легко совмещается с признанием реального существования классического мира, к объектам которого относится и аппаратура экспериментатора. Но можно ли онтологию копенгагенской интерпретации именовать онтологией, если в ней речь идет о *знаниях* экспериментатора о квантовой системе?

Знания – достояние субъекта. «И бозон Хиггса, и открытые ранее промежуточные W и Z бозоны действительно конструируются в процессе исследования. Вопрос в том, существуют ли они в природе до того, как их предсказывает теория, или действительно создаются в грандиозных экспериментальных установках, характерных для современной физики частиц?» [19, с. 107]. Провокационный вопрос. Ведь с другой стороны, кварки и вышеназванные переносчики слабого взаимодействия присутствуют в пространстве и времени, их свойства открыты для изучения и манипуляций, используются в работающих устройствах. Допущение этих ненаблюдаемых сущностей в научные теории позволяют формулировать наблюдаемые предсказания. Значит эти сущности – реальные?

Дискуссионным является не только существование ненаблюдаемых сущностей, но и величин. К последним относится описывающая поведение квантовых объектов волновая функция. В отношении последней имеет место два подхода. «С *пси-онтической* точки зрения каждому физическому (онтическому) состоянию соответствует только одно квантовое состояние, которое описывает волновая или пси-функция. Это состояние объединяет все собственные свойства квантовой системы и содержит о ней полную информацию. С *пси-эпистемологической* точки зрения одно и то же физическое состояние может быть совместимо с различными квантовыми состояниями. Последние уже не содержат полной информации о квантовой системе, а представляют собой наши знания о ней. В чем-то оно похоже на вероятностное распределение статистической механики» [22, с. 172] и напоминает бинарную оппозицию **R** и **U**. В.Э. Терехович выделяет три концептуально разных подхода к проблеме реальности объектов квантовой теории. Эти подходы он условно именует: классический реализм, квантовый антиреализм и квантовый реализм. «Причем первые два относятся скорее к пси-эпистемологическому подходу, и только квантовый реализм – к пси-онтическому» [22, с. 172]. Эпистемология квантовой механики вкладывает новый смысл и в понятие «наблюдение», ибо последнее «описывается посредством интертеоретических отношений». Но, являются ли «интертеоретические отношения отражением какой-то физической реальности?» [4, с. 137]. Скорее, математического конструкта этой реальности. Но допустимы и другие варианты ответов на данный вопрос.

С. Вайнберг, отдавая дань позиции Н. Бора и признавая наличие проблемы полноты квантовой механики, склоняется к точке зрения реализма [7, с. 64–66]. Разделяется им и прагматизм У. Куайна: «Волновые функции реальны настолько же, насколько реальны кварки и симметрии: их просто *удобно* (курсив наш – В. В.) включить в наши теории. Любая система находится в определенном состоянии, независимо от того, наблюдает ее какое-либо человеческое существо или нет» [7, с. 65].

Квантовая механика ускорила, начатый И. Кантом, процесс перевода онтологии в формат гносеологии. Сторонников копенгагенской интерпретации интересовало не то, что «есть», а то, что мы знаем о мире. «Неверно думать, будто задача физики – выявить, что представляет собой природа, – утверждал Бор. – К физике относится только то, что мы можем сказать о природе». И ничего больше. Он (Н. Бор – В. В.) верил, что у науки может быть всего две цели: «расширить наше эмпирическое знание о мире и упорядочить его» [3, с. 342–343]. Если Бор был реалистом только в отношении научных теорий, то его главный оппонент, считавший квантовую механику неполной, стоял на иной позиции: наука определяет, что существует в объективной, от субъекта не зависящей, реальности. По словам А. Эйнштейна, «основополагающим для физики является предположение, что реальный мир существует независимо от того, как мы его воспринимаем, но мы этого не *знаем*» [3, с. 412–413].

Гносеологический натиск продолжается и в настоящее время. Д. Дойч считает, что «ткань реальности» сплетается из «четырех нитей» – квантовой теории (объясняет «устройство» материи на низшем фундаментальном уровне), теории эволюции (Вселенной и живых организмов), теории познания (в версии К. Поппера), теории вычисления (объясняет природу и функции математических абстракций) [23]. Дойч, называя себя реалистом, тем не менее, утверждает: физический мир – это мультивселенная, ее структура определяется течением информации (наша «вселенная» – один из квазиавтономных потоков информации). Мир – эмерджентное свойство мультивселенной и мы не воспринимаем его непосредственно. Наши внешние ощущения и знания нефизических миров (логики, математики, литературы, искусства и т. д.) – элементы виртуальной реальности, имеющей автономный онтологический статус [23, с. 206].

Прежде чем перейти к последней части статьи, стоит вспомнить тривиальную вещь: барионная материя, фиксируемая человеком и созданными им измерительными приборами, составляет всего лишь около 4% Универсума. Остальное – объекты неясной природы, так называемые, «темная материя» и «темная энергия». И не исключено, что недостающие проценты «космической плотности «массы» обеспечиваются совсем не реальным веществом того или иного сорта, а положительной космологической постоянной» [7, с. 177]. Человек так привык к концептуальной схеме, в которой масса – атрибут чего-то реального, что уловить смысл сказанного проблематично. Видимо, пора начинать дискуссии на предмет онтологии ложного вакуума или «квантовых флюидов» (термин Ф. Вильчека). Нужно менять язык онтологии и способ рассуждений об ее объекте. Или искать альтернативы, в которых главную роль играет ансамбль других «реальностей» или миров.

О множественности миров и возможных мирах

Семантика «мира» – многоуровневая. Мир – это полнота безликого Космоса, «резервуар» для стационарных и/или эволюционирующих объектов и систем. Мир можно определить как симфонию стихий, «пространственно-временную гармонию разнородного сущего» [24, с. 263]. Он – тотальность положения дел; форма и способ существования целого в границах некоторого типа реальности с определенным номологическим и/или логическим ландшафтом. Концепты «реальность», «действительность», «Вселенная», «мир» можно рассматривать как синонимы. «Истории миров» (кавычки говорят о метафоре) берут начало и разворачиваются в объективированных ментальных системах координат (локальных или глобальных). Они распадаются на философские, научные, религиозные, литературные и другие универсумы. Негеоцентризм еще в эпоху античности породил идею множественности миров – «коллегу» идеи миров логически возможных (их эпистемологическая адекватность и онтологическая достижимость из действительного мира – одна из ключевых философских проблем). Как говорил А. Эйнштейн, «если в первый момент идея не кажется абсурдной, она безнадежна». Идея множественности миров (как и идея миров возможных) изначально кажется именно такой, хотя имеет долгую историю. Эволюция представлений о многих мирах вплоть до XVII в. исчерпывающе изучена В.П. Визгиным [24].

Вторая субрегиональная онтология в реестре Р. Пенроуза изначально виделась провокационной. Речь идет о многомировой интерпретации квантовой механики. Она была разработана Х. Эвереттом III в конце 50-х годов и далеко не сразу составила конкуренцию учению копенгагенской школы, долго оставаясь маргинальной. В учении Эверетта волновая функция не коллапсирует, а включает в себя наблюдателя с его измерительным прибором. Все возможные результаты квантовых событий сосуществуют как реальные в параллельных Вселенных. Тем самым преодолевается граница между классическим миром и квантовым. В результате измерения, классический мир расщепляется на множество миров, соответствующих каждой компоненте квантовой суперпозиции. Расщепляется и сознание наблюдателя, который оказывается в одном из альтернативных макромиров. «Эверетт вводит универсальную волновую функцию, которая связывает наблюдателя и объекты наблюдения в единую квантовую систему! В результате, в процессе измерения никакого коллапса (редукции состояния) не происходит, а реализуются сразу все возможные состояния, т. е. квантовый мир расслаивается (расщепляется, ветвится) на параллельные классические миры. Это означает, что суперпозиция (линейная комбинация) волновой функции описывает не потенциальные, а актуальные состояния, и теперь никакого разделения между микро-миром и макро-миром не существует» [18, с. 58]. Многомировая интерпретация хотя и продолжает считаться контринтуитивной, не удовлетворяя критерию самоприменимости, имеет в начале XXI в. влиятельных сторонников (Д. Дойч, М. Тегмарк, Ф.Дж. Типлер, Д. Чалмерс). Онтология Эверетта, считает Р. Пенроуз, не такая уж и радикальная, ибо не постулирует параллельное сосуществование альтернативных миров. Эта онтология «не предполагает, что альтернативные миры реально «существуют» по отдельности, – реальной считается лишь обширная определенная суперпозиция, выражаемая пси-функцией» [21, с. 655]. Копии экспериментатора «живут» в разных мирах и для каждой из копий существует лишь один результат. Отсюда иллюзия – что существует один мир, а их множество.

Анализируя интерференцию в контексте знаменитого двухщелевого эксперимента, Д. Дойч обнаруживает наряду с реальными «теневые» фотоны, которые являются неосязаемыми [23, с. 59–77]. «Между реальными и теневыми фотонами нет особой разницы: каждый фотон осязаем в одной вселенной и не осязаем во всех остальных, параллельных вселенных» [23, с. 78]. Свои «тени» имеют и другие частицы. «Реальность обширнее той, что нам явлена, большая ее часть сокрыта от наблюдателя. Вселенные являются «параллельными» в том смысле, что в пределах каждой вселенной частицы взаимодействуют друг с другом так же, как в реальной вселенной, но воздействие, оказываемое каждой вселенной на остальные, весьма слабое, и реализуется оно через явление интерференции» [23, с. 83]. Дойч делает смелый вывод: «Квантовая теория описывает взаимодействие реального с возможным» [23, с. 85]. Ниже, видимо понимая парадоксальность такого вывода, он уточняет: просто реальные фотоны ведут себя по-разному в экспериментальной установке, ибо нечто им мешает. «Возможное» не может взаимодействовать с реальным: несуществующие сущности не могут изменять траекторию движения существующих. Если фотон отклоняется от своей траектории, на него должно что-то воздействовать, и это что-то я назвал «теневым фотоном». Конечно, присвоение имени не делает вещь реальной, но не может быть, чтобы действительное событие, такое как приход и регистрация реального фотона, было вызвано воображаемым событием – тем, что фотон «мог бы сделать», но не сделал» [23, с. 85].

Астрофизик М. Тегмарк считает: чтобы описание реальности, существующей независимо от людей, было полным, оно должно «выражаться в форме, лишенной всякого человеческого «багажа», репрезентируемого в языке. Но «все физические теории содержат две компоненты: математические уравнения и «багаж» – слова, объясняющие, как эти уравнения связаны с тем, что мы наблюдаем и интуитивно понимаем. «Выводя из теории следствия, мы придумываем для них новые понятия и слова, например, протоны, атомы, молекулы, клетки, звезды, поскольку ими удобно пользоваться» [25, с. 142]. Тегмарк разделяет принцип плодовитости Р. Нозика и модальный реализм Д. Льюиса (о них ниже) и возрождает учения Пифагора и Платона. Он формулирует гипотезу математической Вселенной (ГМВ), заявляя: физическая реальность – часть объективной математической структуры. Человек – самосознающая часть гигантского математического объекта. «Математическая структура – это абстрактное множество сущностей с отношениями между ними. Эти сущности не имеют никакого «багажа»: кроме этих отношений они не обладают никакими свойствами» [25, с. 379]. ГМВ предполагает иллюзорность изменения и течения времени. «Математической структурой является не только пространство-время, но и все вещество в нем, включая частицы, из которых состоим мы. Математически это вещество соответствует полям – числам в каждой точке пространства времени, которые задают, что там находится» [25, с. 444]. Американский ученый строит теорию с очень тяжелым «багажом». Здесь и «мультиверс» (совокупность вселенных) с его четырьмя уровнями, и «физическая реальность», эквивалентная мультиверсу IV уровня; «пространство», открытая для наблюдения «наша Вселенная», «параллельные вселенные» как часть физического пространства и т. д. [25 , с. 198]. ГМВ имеет множество проблемных моментов, мы не будем на них останавливаться. Однако, как писал С. Вайнберг, «иногда во время дискуссий с физиками вдруг выясняется, что математически красивые идеи имеют действительное отношение к реальному миру, и тогда возникает чувство, что там, за доской, есть какая-то более глубокая истина, предвестник окончательной теории» [7, с. 10].

Учения Эверетта, Дойча, Тегмарка репрезентируют альтернативные реальности миры, существование которых не зависит от человека. Перед нами, пусть и экзотические, но версии реализма, с явным эпистемическим акцентом. И эти версии разворачиваются с оглядкой на традицию субстанциональной картины мира.

Интересную тенденцию обнаруживает А.С. Карпенко: XX век породил не столько конфликт между двумя мирами – классическим и квантовым, сколько между типами мышления – субстанциональным и модальным, прежде всего, возможностным, контрфактуальным. У истоков модального мышления стоял Г. Лейбниц. И. Кант, известный как оппонент философии возможного, косвенно способствовал ее успеху. Начав революционный процесс трансформации онтологии в теорию познания, Кант положил начало деструкции экстенсионального субстанционализма в пользу модальной интенсиональности. Модальному мышлению «не научаешься, а получаешь как замыкание всех возможностей универсума на себя, и ты сам порождаешь все новые и новые возможности в виде альтернативных миров. В действительности возможностное мышление еще более безгранично, ибо человеческий разум может помыслить даже бесконечное (и в некотором смысле порождает бесконечности), хотя в природе пока ничего подобного не обнаружено» [26, с. 61–62]. Субстанциональное мышление ищет реальность, но та постоянно «исчезает», порождая различные версии антиреализма. Модальное мышление обнаруживает реальность в многообразии возможностей, подчиняющихся принципу плодовитости Р. Нозика. «Ключевой фразой у Нозика является следующая: «Все возможности существуют в независимо невзаимодействующих сферах, в «параллельных универсумах». Мы можем назвать это допущением «плодовитости». Отсюда следует, что актуальный мир не является привилегированным перед ничто и вообще перед любыми возможными мирами, это всего лишь мир, где мы живем. В силу принципа плодовитости все возможное реализуется и все мыслимые возможности тоже» [18, с. 54]. С. Вайнберг считает данный принцип согласованным и антропоориентированным. Постулируемые Нозиком миры совершенно разные и подчиняются иным физическим законам, а значит, они недостижимы и непознаваемы. Следовательно, «утверждение об их существовании, похоже, не имеет никакого смысла, кроме возможности избежать вопроса, почему они не существуют. Похоже, проблема в том, что мы пытаемся рассуждать логически по поводу вопроса, не поддающегося логическому анализу: что должно или не должно вызывать в нас ощущение чуда» [7, с. 185].

То, что логика тоже может «ветвиться» и «расщепляться», доказал еще Н.А. Васильев. Логика ничего не говорит о существовании или не существовании миров и населяющих их объектов, не препятствует рассуждениям о «возможных мирах» (далее – *W*). Логика не в состоянии запретить плюрализм онтологий и наличие противоречивых «невозможных возможных миров», которые приобретают легитимность благодаря интенсиональным контекстам. «Мистический страх перед противоречием сами логики давно уже преодолели, начиная со знаменитой книги Я. Лукасевича (1910), где содержится обстоятельная критика всех трех формулировок закона противоречия у Аристотеля. Более того, с начала 1980-х гг. получила распространение концепция диалетизма (dialetheism), утверждающая, что существуют истинные противоречия. Из концепции диалетизма, однако, не следует, что все истинно» [18, с. 65]. Т. е. логика позволяет рассуждать о чем угодно, но не о чем попало.

А.С. Карпенко дополняет принцип изобилия принципом полноты, «требующим реализации в актуальность всего того, что мыслится как возможное. Все мыслимо возможное реально – вот характеристическая черта модального мышления. <…> В результате мы приходим к концепции «сверхреализма» или «тотального реализма», что является глубокой имманентной реакцией на анти-реализм. Если нет ничего – то существует все» [26, с. 62]. На территории онтологии философия и физика сосуществуют в метафизической парадигме принципа дополнительности Бора. «Как и у Бора, одно не исключает другого, но есть нечто, связывающее противоположности, и этим нечто является логическое пространство, которое не может не заполняться и никогда не является пустым. Ни о каком «ничто», которое так любят метафизики, не может быть и речи, поскольку имеет право быть любая логическая возможность» [26, с. 65]. Поэтому знаменитая сентенция Р. Декарта, требует уточнения: «Существовать – значит мыслить возможное» [26, с. 66].

Модальное мышление приводит к конструированию ситуаций, при котором мыслимое положение дел дополняет, расширяет и даже замещает объективную реальность. Такое мышление в полной мере находит отражение в идее *W*, которая в XX веке была адаптирована к задачам и языку современной логики (С. Крипке, Д. Скотт, Я. Хинтикка; В.Л. Васюков, Е.А. Сидоренко, В.В. Целищев и др.) и легла в основу теорий *W*. Причем, семантика *W* не несла информации о «конкретных» воображаемых мирах. В данной «семантике постулируется непустое множество, элементы которого называют возможными мирами: точками, точками соотнесения, моментами (времени), состояниями, вынуждающими условиями, абстрактными сущностями, мысленными положениями дел и т. п., в зависимости от содержательной интерпретации или зафиксированной терминологии. Методологическая проблема заключается в том, что такой сложный феномен, как возможность чего-то, интерпретируется посредством еще более сложного феномена в виде возможных миров. Например, возможные истинные утверждения – это те утверждения, которые истинны лишь в некоторых возможных мирах, т. е. возможность определяется через возможность» [18, с. 61].

Логика быстро утратила монополию на понятие «*W*». Оно стало элементом концептуального каркаса философии религии, философской антропологии, психологии, литературоведения. В настоящее время имеет два типа объектов, именуемых «*W*» – формальный и содержательный.

Я. Хинтикка интерпретирует *W* «либо как возможное положение дел, либо как возможное направление развития событий». Актуальность «*W*» обусловлена тем, что «использование многих важнейших понятий включает в себя так называемые дескриптивную компоненту и недескриптивную, или модальную, компоненту» [27, с. 38]. Хинтикка вписывает «*W*» и в более узкий контекст «личных» эпистемических модальностей – знания, веры, памяти и т. п., рассматривая возможные состояния дел в плане их совместимости с установками определенного лица [27, с. 87, 228]. У Е.А. Сидоренко, *W* – не онтологические миры, а множество предложений, имеющее два этажа – фактуальный (эмпирический) и теоретический. «Первые этажи у каждого возможного мира представляют собой некоторое не пустое множество литералов, т. е. атомарных высказываний или их отрицаний. Вторые этажи могут содержать предложения любого вида» [28, с. 277]. В понимании *W* как «чисто лингвистических образований» Сидоренко не одинок. Многие исследователи стоят на номиналистических позициях, рассматривая

W как способ реализации дескриптивного потенциала языка, метафору, модератора фабулы и т. д., что дополняет понимание *W* как формального исчисления модальной логики, необходимого для решения проблем, связанных с интенсиональностью. Р. Карнап, как мы отмечали выше, предложил демаркировать внутренние вопросы о существовании объектов (и их свойств) внутри концептуального каркаса и внешние (собственно, онтологические) – о существовании задаваемых каркасом систем объектов в целом. Карнап, которого трудно заподозрить в любви к метафизике, спрашивает: «Что мы понимаем под «возможным миром»? И отвечает: «Просто мир, который может описываться без противоречия. Сюда входят сказочные миры и вымышленные миры самого фантастического рода при условии, что они описываются в логически непротиворечивых терминах» [29, с. 49]. В отличие от эмпирических законов, законы логики и математики ничего не говорят ни о структуре мира, ни о том, «что отличало бы действительный мир от некоторого другого возможного мира» [29, с. 50].

Модальное мышление продуцирует различия в картинах мира. Эти различия коренятся не столько в онтологии, сколько в идеологии, нагруженной верованиями, оценками, убеждениями, предпочтениями и т. д. *W* допустимо рассматривать как элемент идеологии. Наличие конструктов, именуемых «*W*», – в самой природе сознания, которое, обладая квалиа, продуцирует нечто, отличное от реальности. Последняя распадается на множество эпистемических фрагментов, селекция которых осуществляется субъектом в разных контекстах. Идеологии имплицируют иррегулярность и несоизмеримость *W*, их стремление к эпистемологической автономии. Пролиферация *W*, разнообразие способов их создания – результат творческой активности человека. Генератором этой активности является не столько реальность сама по себе, сколько знания о ней, знания преимущественно индексикальные [30, с. 93].

Д. Льюис редуцирует к индексу даже понятие «действительность», что позволяет ему утверждать: населяемый нами мир – один среди многих, а *W* не полагаются, как считал С. Крипке, но существуют. У Льюиса «действительный» – точка соотнесения. Референция индекса изменяется в зависимости от контекста произнесения. Мир, в котором имеет место данное произнесение и есть действительный. Следовательно, предложение «Это действительный мир» – истинное в любом из *W*, а предложение «Все миры действительны» – ложное. «Каждый имеет все основания назвать свой собственный мир действительным, но никто, где бы он ни находился, не может называть все миры действительными» [31, с. 367]. Не без влияния Льюиса, ускорился переход от семантики к онтологии *W*, был дан импульс метафизическим исследованиям. Льюис стремился разработать онтологию в научном ключе, однако ни верифицировать, ни фальсифицировать его гипотезу о существовании *W* невозможно. Он, вслед за Эвереттом, видит в *W* конкретные сущности. Но на этом сходства заканчиваются. Эверетт допускает «ветвления» миров, каждый из которых реализуется. У Льюиса «ветвления» нет. Как нет и взаимодействия между мирами. У Эверетта, в отличие от Льюиса и Тегмарка, действуют одни и те же законы природы, но миры находятся в различных состояниях. Тегмарк изначально допускал и иные законы, и различные состояния; его гипотеза входила в противоречия с теоремой Геделя о неполноте. Под давлением критиков, Тегмарк ввел в качестве ограничений законы природы, апеллирующие только к разрешимой части математики. Льюис допускает что угодно. «Миры Льюиса – это то, что может быть мысленно представлено непротиворечивым образом, а миры Эверетта – это то, что подчиняется законам квантовой механики» [18, с. 65].

W – это способы бытия объектов, отличающиеся от стандартных. *W* – ментальные конструкты, репрезентирующие релевантные в некоторой системе модальных координат (кортежей точек соотнесения) возможные конфигурации существования (полагания) индивидов и их функций, разворачивания событий и историй. Модальности, шире – контексты, задают матрицу, с помощью которой эти конфигурации квалифицируются, эксплицируются и получают «ярлык» на истинность. «Индекс», «точка соотнесения» могут рассматриваться как синонимы модальности. *W* подчиняются законам некоторых логических пространств. Наличие онтологических *W* относится к области мировоззренческих предпочтений. Например, системы религиозных представлений можно рассматривать и как воображаемый мир, и как мир квазиреальный. «Жизнь» *W* зависит от структур логического пространства, способного менять свои конфигурации и номологический ландшафт. Если полнота и непротиворечивость формальных *W* очевидна, то данные качества у содержательных *W* весьма размыты [30, с. 91, 96].

В.В. Целищев считает спорным утверждение, что введение в дискурс модальных понятий не увеличивает онтологии, но лишь расширяет концептуальное восприятие природы математической истины. «Модальности заставляют нас принять как минимум онтологию возможных миров, которые являются не менее проблематичными, чем математические сущности» [15, с. 202]. Рассуждения о *W* приводят к дилемме. При квантификации модальных контекстов, согласно Куайну, *W* являются значением связанной переменной и, следовательно, – элементом онтологии. Но *W* столь отличны он физических и абстрактных объектов, что их онтология предстает контринтуитивной. Выход – в переносе «обязательств» онтологии на идеологию, частью которой *W* и становятся. В результате функции индивида, являясь значением связанной переменной, перестают быть частью онтологии, а идентификация объектов переносится в сферу компетенции идеологии. Тогда экзистенциальный квантор, несущий основную онтологическую нагрузку будет включать «две раздельные идеи: существование в конкретном мире (онтология), и тождества объектов в различных возможных мирах (функциональность)» [15, с. 215]. Используя нестрогую аналогию, резюмирует: перед нами, пси-онтический и пси-эпистемологический подходы к существованию *W*. Куайн, скептически относившейся к теориям *W*, не считает онтологические проблемы модального мышления неразрешимыми. «Корень затруднения – в референциальной непрозрачности модальных контекстов. Но референциальная непрозрачность отчасти зависит от принимаемой онтологии, от того, какие объекты допустимы в качестве возможных объектов референции» [14, с. 142].

W уже давно не являются онтологической и/или эпистемологической экзотикой. Семантика *W* одно из перспективных направлений современной логики. Идея *W* актуализируется, трансформируется и успешно функционирует в социально-гуманитарном пространстве, о чем свидетельствуют работы Г. В. Гриненко, Н. Гудмена, Х. Кюнга, А. Плантинги, В.П. Руднева, У. Эко, М.Н. Эпштейна и др. «Сегодня понятие «возможный мир» является одним из широко используемых теоретических инструментов в неклассической логике и теориях искусственного интеллекта, эпистемологии, аналитической философии языка, лингвистике, философии сознания, аналитической метафизике. Метафизика модальностей, в частности, возможных миров становится чуть ли не центральной темой в современной философии» [18, с. 61].

Модальному мышлению, импликацией которого являются *W*, трудно адаптироваться и «легализоваться» в пространстве онтологии. *W* следует отличать от множественных миров. Первые – продукт скорее интенсиональной онто-эпистемологии, вторые – экстенсиональной. Концепция множественности предполагает сосуществование равноправных миров. *W* существуют условно и дискретно, как правило, на вымышленных (в т. ч. виртуальных) «окраинах» действительного мира. Проблема не только в не наблюдаемости, не верифицируемости и не фальсифицируемости *W*, но в ответе на вопрос: «Как возможно существование возможного?»

Выводы

Предметно-проблемная территория онтологии обширна, исторически изменчива. Пытаясь очертить границы и ландшафт этой территории, трудно избежать контекстов, обобщений, идеализаций. Онтология репрезентирует относительно устойчивую панораму реальности, эпистемология – нестабильный и вариативный процесс ее создания. Их четкая демаркация проблематична. Познаваемое и познающий всегда находятся в сложных и противоречивых отношениях. Нет «чистых» онтологических характеристик, с помощью которых мы можем описать мир без учета процесса познания, но и знание невозможно без внешних объектов (реальных, действительных, воображаемых, ненаблюдаемых, принципиально непостижимых, виртуальных и т. д.).

Реальный мир однозначно существует, это выделенный мир. Однако он до конца не достижим, что имплицирует плюрализм онтологий, имеющих разные задачи. Философская онтология бытия больше ориентирована на понимание мира, научная онтология реальности – на объяснение. Каждая из конкурирующих онтологий есть знание. Создание достоверного знания о мире (онтология) и исследование формирования этого знания, наряду с анализом способов мышления о реальности (эпистемология) – процессы взаимосвязанные. Вопросы онтологии, в значительной мере, – следствия эволюции тех или иных эпистемологических программ. Теории познания принадлежит научная идеология, как, вероятно, и любая фоновая онтология.

Неоднозначность объекта онтологии не в самой реальности, а в знаниях о ней. Эти знания релятивные, вариативные, гипотетические, неполные, сконструированные. Любой элемент мира *для нас* – это результат синтеза внешнего воздействия, его чувственной интерпретации и трансляции результатов работы сознания с помощью языка. Человек отражает реальность (если, конечно, он ее отражает, а не конструирует) в форме мыслимых сущностей – эйдосов. Дискуссия между реалистами и конструктивистами разворачивается, как это ни парадоксально, в парадигме реализма, но с разными эйдетическими интонациями. В сравнении с конструктивизмом, реализм видится более релевантным онтологическим подходом.

Полисемия понятия «реальность» детерминирована эволюцией науки, сопровождающейся пролиферацией теорий. Чтобы объяснить мир, дисциплинарных онтологий недостаточно. Нужно подняться над ними. Естествознание обречено на апелляции к метафизике. Ее элементы обнаруживаются во всех региональных научных теориях. Их, наряду с научными гипотезами, прогнозами, моделями допустимо рассматривать как *W*, достижимые из действительного мира. Тезис «Реально все возможное» тоже является метафизическим. Минимизация негативной метафизики состоит в придании высказываниям о мире ясности, простоты, точности, когерентности, эмпирической проверяемости.

Рассуждая о реальности, не избавиться от лингвистического «багажа». Реализм тяготеет к субстанциональному мышлению. Такое мышление трудно преодолеть. Человек всегда будет классифицировать объекты, конструировать «миры» и «царства». И этот процесс, вероятно, обусловлен лингвистическими структурами. Отношения между онтологией и языком не являются стабильными, инвариантными, самоочевидными. Но онтологии без языка не существует, что убедительно подтверждает опыт аналитической философии. Язык – не элиминируемая причина многозначности онтологии.

Одно из направлений трансформации современной онтологии, в контексте изменения представлений о реальности (физической и ментальной), связано с переходом на модальное мышление. Оно тяготеет к конструктивистской парадигме, в отличие от мышления субстанционального, апеллирующего к реализму. Антропомерная метафизика модальностей – элемент постнеклассической рациональности. В ее формате гегелевское «все разумное – действительно, все действительное – разумно» приобретает новые смыслы, генерируя креативные познавательные стратегии.

W – продукту модального мышления – недостает онтологической выполнимости. «*W*» – понятие-голограмма без устойчивого регистрируемого референта. В комплексе учения о *W* пока не могут претендовать на статус когерентной, структурированной, общезначимой программы, обладающей онтологическим и теоретико-познавательным ядром.

Являются ли *W* онтологически разными мирами или эпистемологически разными мирами? Скорее второе, чем первое (если речь не идет о дисциплинарных онтологиях, где постулируется единство мира при условном делении его на фрагменты). *W* не контактируют напрямую с реальностью. При наличии такого контакта они в нее «коллапсирует». Если онтология *W* – проблематична, то построение онтологии возможного видится осуществимым и эвристическим. Нужно иметь в виду: множественность миров не тождественна множественности онтологий.

Таким образом, полисемия понятия «онтология» порождена ее неизбежной редукцией к гносеологическим темам и рубрикам. Экспансия эпистемологии на территорию онтологии обречена на успех. Процессы получения, форматирования, трансляции знания с помощью языка продуцируют, наряду с развитием и дифференциацией физики, космологии, математики, логики, методологии и т. д., неоднозначность в понимании реальности. Следовательно, дисциплина, имеющую реальность (бытие, Универсум, действительность; выбор синонима обусловлен лингвистическими и семантическими предпочтениями) своим объектом будет многозначной. Плюс явный или латентный, но всегда неизбежный, антропоцентризм и антропоморфизм в рассуждениях о мире. Именно субъект познания конструирует индексы, контексты, точки соотнесения, абстрактные и гипотетические сущности, мысленные положения дел, контрфактуалы. Открытым остается вопрос об онтологическом статусе всех этих ментальных объектов и того логического пространства, в котором они располагаются.

Философия понимает мир «качественно», допуская умозрения, спекуляции, не фальсифицируемые обобщения. В отличие от науки, она может позволить себе трансцендирование, больше метафоричности, истинностных провалов, интеллектуального сумасшествия в деле, как обнаружения, так и конструирования реальности, вплоть до создания миров. Как сказал академик В. С. Степин, «философия – это такая познавательная деятельность, которая активно участвует в формировании «социальных геномов» возможных человеческих миров» [32, с. 28].

Список литературы

1. Деннет Д.С. Виды психики: На пути к пониманию сознания / Пер. с англ. А. Веретенникова. – М.: Идея-Пресс, 2004. – 184 с.
2. Владимиров Ю.С. Метафизика. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 568 с.
3. Кумар М. Квант: Эйнштейн, Бор и великий спор о природе реальности. – М.: АСТ, 2013. – 592 с.
4. Невважай И.Д. Проблема региональных онтологий в современном естествознании // Философия науки. Выпуск 14: Онтология науки / Отв. ред. А. Н. Павленко. – М.: ИФ РАН, 2009. – С. 131–143.
5. Шлик М. Позитивизм и реализм // Журнал «Erkenntnis» («Познание»). Избранное / Пер. с нем. А.Л. Никифорова. – М.: Издательский дом «Территория будущего», Идея-Пресс, 2006. – С. 283–310.
6. Лосев А.Ф. Философия имени // Лосев А.Ф. Из ранних произведений. – М.: Правда, 1990. – С. 11–192.
7. Вайнберг С. Мечты об окончательной теории: Физика в поисках самых фундаментальных законов природы / Пер. с англ. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 256 с.
8. Шредингер Э. Мой взгляд на мир / Пер. с нем. Изд. 2-е. – М.: Книжный дом «Либроком», 2009. – 152 с.

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

9. Шохин В.К. Стратификация реальности в онтологии адвайта-веданта. – М.: ИФ РАН, 2004. – С. 12–49.
10. Афанасьева В.В., Анисимова Н.С. Постнеклассическая онтология // Вопросы философии. №8, 2015. – С. 28–41.
11. Витгенштейн Л. Логико-философский трактат / Пер. с англ. Л. Добросельского. – М.: АСТ: Астрель, 2010. – 177 с.
12. Макеева Л.Б. Язык, онтология и реализм. – М.: Издательский дом Высшей школы экономики, 2011. – 310 с.
13. Фейерабенд П. Против метода. Очерк анархистской теории познания / Пер. с англ. А.Л. Никифорова. – М.: АСТ Москва: Хранитель, 2007. – 413 с.
14. Куайн У. С точки зрения логики: 9 логико-философских очерков / Пер. с англ. В.А. Ладова и В.А. Суровцева. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. – 166 с.
15. Целищев В.В. Онтология математики: объекты и структуры. – Новосибирск: Нонпарель, 2003. – 240 с.
16. Карнап Р. Эмпиризм, семантика и онтология // Карнап Р. Значение и необходимость / Пер. Н. В. Воробьева. – М.: ИИЛ, 1959. – С. 298–320.
17. Тарароев Я.В. Представление бытия как связей в контексте современной космологии // Философия науки. Выпуск 14: Онтология науки. – С. 158–170.
18. Карпенко А.С. Основной вопрос метафизики // Философский журнал. №2(13), 2014. – С. 51–73.
19. Мамчур Е.А. Ненаблюдаемые сущности современной физики: социальные конструкты или реальные объекты? // Эпистемология и философия науки. № 1, 2017. – С. 106–123.
20. Вильчек Ф. Красота физики: Постигая устройство природы / Пер. с англ. 2-е изд. – М.: Альпина нон-фикшн, 2017. – 604 с.
21. Пенроуз Р. Путь к реальности, или Законы, управляющие Вселенной. Полный путеводитель / Пер. с англ. А. Р. Логунов, Э.М. Эпштейн. – М.: Институт компьютерных исследований; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2007. – С. 654–680.
22. Терехович В.Э. Три подхода к проблеме квантовой реальности и вторая квантовая революция // Эпистемология и философия науки. №1, 2019. – С. 169–184.
23. Дойч Д. Структура реальности: Наука о параллельных вселенных / Пер. с англ. 3-е изд. – М.: Альпина нон-фикшн, 2018. – 614 с.
24. Визгин В.П. Идея множественности миров: Очерк истории. – М.: Издательство ЛКИ, 2007. – 336 с.
25. Тегмарк М. Наша математическая Вселенная. В поисках фундаментальной природы реальности / Пер с англ. А. Сергеева. – М.: АСТ, 2017. – 592 с.
26. Карпенко А.С. В поисках реальности: Исчезновение // Философия науки. №1, Т. 20, 2015. – С. 36–81.
27. Хинтикка Я. Логико-эпистемологические исследования. Сборник избранных статей. – М.: Прогресс, 1980. – С. 35–101, 228–242.
28. Сидоренко Е.А. Логика. Парадоксы. Возможные миры. (Размышления о мышлении в девяти очерках). – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – С. 252–307.
29. Карнап Р. Философские основания физики. Введение в философию науки / Пер. с англ. Г.И. Рузавина. – М.: Прогресс, 1971. – С. 39–59.
30. Волошин В.В. Классифицирование и классификации возможных миров // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки. №3, 2019. – С. 88–98.
31. Льюис Д. Ансельм и действительность / Пер. с англ. Л.Б. Макеевой // Возможные миры. Семантика, онтология, метафизика / Отв. ред. Е.Г. Драгалина-Черная. – М.: «Канон +» РООИ «Реабилитация», 2011. – С. 349–370.
32. Степин В. С., Касавин И.Т. Философские беседы: десять лет спустя // Эпистемология и философия науки. №3, 2014. – С. 18–52.

References (transliteration)

1. Dennet D.S. Vidy psihiki: Na puti k ponimaniju soznanija [Kinds of Minds: Towards an Understanding of Consciousness] / Per. s angl. A. Veretennikova. Moscow, Ideja-Press, 2004, 184 p.
2. Vladimirov J.S. Metafizika [Metaphysics]. Moscow, BINOM. Laboratorija znanij, 2009, 568 p. (in Russian).
3. Kumar M. Kvant: Jejnshtejn, Bor i velikij spor o prirode real'nosti [Quantum: Einstein, Bohr and the Great Debate About the Nature of Reality]. Moscow, AST, 2013, 592 p. (in Russian).
4. Nevvazhaj I.D. Problema regional'nyh ontologij v sovremennom estestvoznanii [The problem of regional ontologies in modern natural science]. *Filosofija nauki.* Issue 14: Ontologija nauki / Otv. red. A.N. Pavlenko. Moscow, IF RAN, 2009: 131–143. (in Russian).
5. Shlik M. Pozitivizm i realizm [Positivism and Realism]. *Zhurnal "Erkenntnis" ("Poznanie").* Izbrannoe / Per. s nem. A.L. Nikiforova. Moscow, Izdatel'skij dom "Territorija budushhego", Ideja-Press, 2006: 283–310.
6. Losev A.F. Filosofija imeni [The Philosophy of Name] // Losev A.F. Iz rannih proizvedenij. Moscow, Pravda, 1990: 11–192. (in Russian).
7. Vajnberg S. Mechty ob okonchatel'noj teorii: Fizika v poiskah samyh fundamental'nyh zakonov prirody [Dreams of a Final Theory: The Scientist's Search for the Ultimate Laws of Nature] / Per. s angl. Moscow, Editorial URSS, 2004, 256 p.

8. Shredinger J. Moj vzgljad na mir [My view of the world] / Per. s nem. Issue 2. Moscow, Knizhnyj dom “Librokom”, 2009, 152 p.
9. Shohin V.K. Stratifikacija real'nosti v ontologii advajta-vedanta [Stratification of reality in Advaita-Vedanta ontology]. Moscow, IF RAN, 2004: 12–49. (in Russian).
10. Afanas'eva V.V., Anisimova N.S. Postneklassicheskaja ontologija [Post-non-classical ontology]. *Voprosy filosofii*. 2015, no.8: 28–41. (in Russian).
11. Vitgenshtejn L. Logiko-filosofskij traktat [Tractatus Logico-Philosophicus] / Per. s angl. L. Dobrosel'skogo. Moscow, AST: Astrel, 2010, 177 p.
12. Makeeva L.B. Jazyk, ontologija i realizm [Language, Ontology and Realism]. Moscow, Izdatel'skij dom Vysshej shkoly jekonomiki, 2011, 310 p. (in Russian).
13. Fejerabend P. Protiv metoda. Ocherk anarhistskoj teorii poznanija [Against method: Outline of an anarchistic theory of knowledge] / Per. s angl. A.L. Nikiforova. Moscow, AST Moscow, Hranitel, 2007, 413 p.
14. Kuajn U. S tochki zrenija logiki: 9 logiko-filosofskih ocherkov [From a Logical Point of View: 9 Logico-Philosophical Essays] / Per. s angl. V.A. Ladova i V.A. Surovceva. Tomsk, Izd-vo Tom. un-ta, 2003, 166 p.
15. Celishhev V.V. Ontologija matematiki: ob"ekty i struktury [Ontology of mathematics: objects and structures]. Novosibirsk, Nonparel, 2003, 240 p. (in Russian).
16. Karnap R. Jempirizm, semantika i ontologija [Empiricism, Semantics and Ontology]. Karnap R. Znachenie i neobhodimost' / Per. N. Vorob'eva. Moscow, IIL, 1959: 298–320.
17. Tararoev J.V. Predstavlenie bytija kak svjazej v kontekste sovremennoj kosmologii [Representation of being as connections in the context of modern cosmology]. *Filosofija nauki.* Issue 14: Ontologija nauki: 158–170. (in Russian).
18. Karpenko A.S. Osnovnoj vopros metafiziki [The basic question of Metaphysics]. *Filosofskij zhurnal.* 2014, no.2 (13): 51–73. (in Russian).
19. Mamchur E.A. Nenabljudaemye sushhnosti sovremennoj fiziki: social'nye konstrukty ili real'nye ob"ekty? [Unobservable entities in modern physics: social constructs or real objects?]. *Jepistemologija i filosofija nauki*. 2017, no.1: 106–123. (in Russian).
20. Vil'chek F. Krasota fiziki: Postigaja ustrojstvo prirody [A Beautiful Question. Finding Nature’s Deep Design] / Per. s angl. Issue 2. Moscow, Al'pina non-fikshn, 2017, 604 p.
21. Penrouz R. Put' k real'nosti, ili Zakony, upravljajushhie Vselennoj. Polnyj putevoditel' [The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe] / Per. s angl. A.R. Logunov, J.M. Jepshtejn. Moscow, Institut komp'juternyh issledovanij; Izhevsk: Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika, 2007: 654–680.
22. Terehovich V.J. Tri podhoda k probleme kvantovoj real'nosti i vtoraja kvantovaja revoljucija [Three approaches to the problem of quantum reality and the second quantum revolution]. *Jepistemologija i filosofija nauk*i. 2019, no.1: 169–184. (in Russian).
23. Dojch D. Struktura real'nosti: Nauka o parallel'nyh vselennyh [The Fabric Of Reality: the Science of parallel universes] / Per. s angl. Issue 3. Moscow, Al'pina non-fikshn, 2018, 614 p.
24. Vizgin V.P. Ideja mnozhestvennosti mirov: Ocherk istorii [The Idea of Multiplicity of the Worlds: History Essay]. Moscow, Izdatel'stvo LKI, 2007, 336 p. (in Russian).
25. Tegmark M. Nasha matematicheskaja Vselennaja. V poiskah fundamental'noj prirody real'nosti [Our Mathematical Universe: My Quest for the Ultimate Nature of Reality] / Per s angl. A. Sergeeva. Moscow, AST, 2017, 592 p.
26. Karpenko A.S. V poiskah real'nosti: Ischeznovenie [In search of reality: Disappearance]. *Filosofija nauki.* 2015. Vol. 20, no.1: 36–81. (in Russian).
27. Hintikka J. Logiko-jepistemologicheskie issledovanija. Sbornik izbrannyh statej [The Logical and Epistemological Studies. Selected Articles]. Moscow, Progress, 1980: 35–101, 228–242.
28. Sidorenko E. A. Logika. Paradoksy. Vozmozhnye miry. (Razmyshlenija o myshlenii v devjati ocherkah) [Logic. Paradoxes. Possible Worlds. (Reflection on Thinking in Nine Essays)]. Moscow, Jeditorial URSS, 2002: 252–307. (in Russian).
29. Karnap R. Filosofskie osnovanija fiziki. Vvedenie v filosofiju nauki [Philosophical Foundations of Physics: An Introduction to the Philosophy of Science] / Per. s angl. G. I. Ruzavina. Moscow, Progress, 1971: 39–59.
30. Voloshin V.V. Klassificirovanie i klassifikacii vozmozhnyh mirov [Classifying and the Classification of Possible Worlds]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Serija: Gumanitarnye i social'nye nauki.* 2019, no.3: 88–98. (in Russian).
31. L'juis D. Ansel'm i dejstvitel'nost' [Anselm and Actuality] / Per. s angl. L.B. Makeevoj. Vozmozhnye miry. Semantika, ontologija, metafizika / Otv. red. E.G. Dragalina-Chernaja. Moscow, “Kanon +” ROOI “Reabilitacija”, 2011: 349–370.
32. Stepin V.S., Kasavin I.T. Filosofskie besedy: desjat' let spustja [Philosophical conversations: ten years later]. *Jepistemologija i filosofija nauki*. 2014, no.3: 18–52. (in Russian).

Волошин В.В. **«Про багатозначність онтології та неоднозначність її об'єкта».** Аналізуються причини багатозначності трактувань онтології в сучасній філософії та науці. Обґрунтовується теза: полісемія детермінована редукцією онтології до епістемології і, як наслідок, має, в тому числі, лінгвістичну природу. Неоднозначність об'єкта онтології полягає не в самій реальності, а в знаннях про неї – релятивних, неповних, сконструйованих. Аргументується положення: плюралізм онтологій є наслідком конкуренції наукових картин світу. Їх формування йде в руслі зміни парадигм в природознавстві, математиці, логіці. Акцентується увага на тому, що суб'єкт пізнання неминуче привносить в онтологію антропний фактор. Робиться висновок: метафізику неможна усунути ні з філософської онтології буття, ні з наукової онтології реальності. Трансформація сучасної онтології здійснюється шляхом витіснення субстанціонального мислення модальним мисленням. Результатом роботи останнього є евристичні теорії можливих світів, що мають низку інноваційних додатків. У комплексі ці теорії поки не можуть претендувати на статус когерентної, структурованої, загальнозначимої програми, яка має онтологічне та гносеологічне ядро.

Ключові слова: метафізика, онтологія, епістемологія, реальність, можливі світи.

Voloshin V.V. "On Polysemy of Ontology and Ambiguity of its Object". *It is suggested that creation of reliable knowledge about the world (ontology) is interconnected with research of the ways the knowledge is formed along with interpretation of ways of thinking about reality (epistemology). There are analyzed causes accounting for multiple treatments of ontology in modern philosophy and science. It is corroborated that the polysemy is determined by reduction of ontology to epistemology. The polysemy is linguistic by nature since the relations between ontology and language are not stable, invariant and self-evident. Ambiguity of ontology's object is rooted not in reality itself, but in the knowledge about it – relative, incomplete and constructed. Nevertheless, in comparison with constructivism, realism appears to be more appropriate ontological approach. It is argued that pluralism of ontologies results from competition between scientific pictures of the world. These are formed in the course of paradigm changes in physics, mathematics, logic and other domains. It is emphasized that subject of cognition inevitably adds an anthropic factor to ontology. Transformation of modern ontology is carried out in the way that modal thinking ousts the substantive one. The former has a bent for constructivism whereas the latter appeals to realism. Modal thinking results in heuristic theories of possible worlds that have a number of innovative applications. Yet, at the moment the whole scope of these theories cannot acquire the status of a coherent, structured and valid program which has ontological and epistemological core. It is underlined that ontological feasibility of the possible worlds is minimal. While contacting with reality they «collapse» into it. The author comes to the conclusion that metaphysics cannot be eliminated either from philosophical ontology of being or from scientific ontology of reality. The statement «If something is possible it is also real» is metaphysical. It is concluded that philosophy understands the world «qualitatively», i. e. allowing of speculations and forged generalizations. As distinct from science, philosophy admits of transcendence, metaphors, truth gaps, paradoxicality in both detecting and construction of reality – right up to creation of the worlds.*

Keywords: metaphysics, ontology, epistemology, reality, possible worlds.

Статья поступила в редакцию 12.11.2018
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук Г.В. Авериным

Ссылка для цитирования статьи
For citation

Волошин В.В. О многозначности онтологии и неоднозначности ее объекта // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(14)–2(15). 2018. – С. 45–62.

Voloshin V.V. 2018. On Polysemy of Ontology and Ambiguity of its Object. *System analysis and information technology in environmental and social sciences,* no.1(14)–2(15): 45–62. (in Russian).

УДК 001.51:122:303.092.8

Представление закона Мура статистическими распределениями временной последовательности событий

Аноприенко А.Я.[1], Аверин Г.В.[2]
[1]Донецкий национальный технический университет
[2]Белгородский государственный национальный исследовательский университет
anoprien@gmail.com, averin.gennadiy@gmail.com

Аноприенко А.Я., Аверин Г.В. «Представление закона Мура статистическими распределениями временной последовательности событий». *Одной из важнейших закономерностей, определяющих развитие техники и технологий, является эмпирический закон Мура, характеризующий изменения значений их наблюдаемых показателей от времени. Скрытые механизмы формирования данной закономерности во многом остаются пока не изученными. Но предполагается, что данная закономерность может достаточно адекватно отражать некоторые вероятностные закономерности, свойственные процессам развития техносферы и общества. Предложено статистические наблюдения в виде временных рядов значений достигнутых показателей рассматривать как реализации случайных функций. Для этого случая изучены способы получения одномерных статистических распределений случайной функции на основе статистических распределений соответствующей случайной величины. Показано, что при известной зависимости закона Мура для некоторого показателя, можно с помощью метода пробит-регрессии подобрать распределение соответствующей случайной функции. Даны примеры оценки статистических распределений. Полученные результаты позволяют выявить вероятностные закономерности, характерные для процессов развития техносферы и общества.*

Ключевые слова: закон Мура и его зависимости, события техносферы, временные ряды показателей, случайные величины и функции, статистические распределения показателей развития.

Введение

Закон Мура отражает эмпирические закономерности, характерные для множества процессов развития как техносферы, так и общества. Его содержание связано с нелинейными зависимостями, которые определяют связь наблюдаемых значений показателей объектов со временем. Закон Мура сам по себе не дает представления о внутренних механизмах соответствующих взаимосвязей.

В современном развитии различных классов объектов достаточно явно прослеживаются закономерности, связанные с ускорением темпов развития и ростом сложности во времени. Однако простая экстраполяция наблюдаемых тенденций в будущее в общем случае не дает достоверного прогностического результата, т.к. не отражает специфики и механизмов формирования для всего многообразия процессов развития. Основная причина этого заключается в том, что большинство экспоненциально развивающихся с течением времени процессов развития природы, техники и общества в определенный момент замедляются и на больших интервалах времени представляются законами *S*-образного развития [1–7], характерными для сред с ограничением ресурсов для развития. В этих случаях процессам развития по закону Мура соответствует только первая часть *S*-образной кривой, для которой характерен экспоненциальный рост показателей.

Так как множество процессов в природе и обществе описываются *S*-образными кривыми, то естественно предположить, что для этих процессов характерны вероятностные закономерности.

Настоящая статья может рассматриваться как один из вариантов дальнейшего развития и обобщения результатов, представленных в публикациях [8–12]. В данной работе сделана попытка связать эмпирические закономерности развития со статистическими закономерностями временных последовательностей событий, которые отражают процессы развития объектов и систем. Это позволит достаточно эффективно привлечь к анализу соответствующих данных математический инструментарий теории вероятности и математической статистики.

Теория развития систем призвана вскрывать фундаментальные закономерности и механизмы формирования процессов развития [13–15]. В этом плане изучение статистических закономерностей, характеризующих такие процессы, может позволить сформировать феноменологические основы такой теории.

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

Закон Мура и его модели

Достоверность прогнозирования будущего во многом определяется адекватным описанием процессов развития. В этом плане закон Мура является одной из наиболее известных и общепризнанных на сегодня закономерностей, позволяющих количественно описывать и прогнозировать долгосрочные изменения в технике и обществе. В частности, последние полвека темпы развития электроники определялись именно этим законом. В настоящее время считается также, что закон Мура и его многочисленные аналоги позволяют с достаточной точностью отражать закономерности, характеризующие технический прогресс во многих областях науки и техники [11]. В 1965 году Гордон Мур (один из основателей и руководителей корпораци Intel) высказал предположение, что интенсивное развитие цифровой микроэлектроники позволит ежегодно удваивать количество активных элементов на кристалле [16, 17]. В середине 1970-х годов реальный период удвоения увеличился до 2-х лет и оставался таковым вплоть до недавнего времени. Основной вариант современной формулировки закона Мура гласит, что целый ряд показателей развития цифровой электроники удваивается каждые 18 месяцев. Различные модификации закона Мура отражают особенности экспоненциального развития самых разнообразных систем на определенных этапах их эволюции.

В настоящее время принято выделять первое поколение законов Мура, выявленных до 1980-х годов включительно [11], и второе поколение, осознание которого началось в середине 90-х годов, когда, в частности, ярко проявилась закономерность экспоненциального роста стоимости производства микросхем по мере их усложнения. В 1995 году Гордон Мур, в частности, показал [18], что экспоненциальный рост полупроводниковой промышленности может сдерживаться исходя из экономических ограничений, связанных с удорожанием соответствующих средств производства. Основатель Intel подчеркнул, что при сохранении в ближайшие десятилетия сложившихся темпов развития примерно в 20-е годы XXI столетия действие закона Мура в его текущем виде станет невозможным по экономическим причинам. Впоследствии его наблюдения подтвердили и другие исследователи [19]. К 2005 году выявились также фундаментальные технологические ограничения, сдерживающие дальнейший экспоненциальный рост частотных характеристик микропроцессоров [20] в связи с жёсткими ограничениями роста плотности энергии в микропроцессорах, что привело к пересмотру политики дальнейшего развития микропроцессорных технологий: рост частоты синхронизации, в частности, резко замедлился. При этом дальнейший рост производительности обеспечивался путем наращивания количества вычислительных ядер в процессорах и роста числа процессоров на кристалле.

В целом можно констатировать, что одной из особенностей второго поколения законов Мура является определение пределов роста развития в определенной технологической отрасли.

К 50-летию закона Мура выявилась еще одна закономерность, связанная, в первую очередь, с ростом производительности компьютерных систем, которая росла на порядок каждые 4 года, ростом количества вычислительных ядер в суперкомпьютерных системах, снижением стоимости хранения гигабайта информации на внешних носителях, глобальным ежегодным ростом производства компьютерных систем и их составляющих т.д. Выяснилось также, что данные закономерности носят достаточно общий характер и в большинстве случаев могут экстраполироваться на ближайшее будущее при среднесрочных прогнозах без существенных ограничений. За 50 лет действия закона Мура в информационно-компьютерных технологиях выявилось не менее 6-ти его модификаций, характеризующихся различными темпами экспоненциального роста [8–12, 21].

Сегодня закон Мура и его аналоги находят применение при описании технического прогресса в самых различных областях человеческой деятельности. В современном виде обобщенный закон Мура может быть представлен в виде зависимости [9]:

$$x = x_0\, 2^{L(\tau_q - \tau_0)/6}, \qquad (1)$$

где L – некий коэффициент, τ_0 – начальный год действия закономерности, τ_q – текущий год действия закономерности, x_0 – значение наблюдаемого показателя в начальном году, x – значение показателя в текущем году.

Так как закон Мура отражает экспоненциальный рост значений различных показателей объектов с течением времени, то семейство зависимостей (1) для данного закона можно также представить в общем виде:

$$x = x_0\, e^{r(\tau - \tau_0)}, \qquad (2)$$

где r – эмпирический коэффициент, определяющий особенности процесса развития определенного объекта.

Справедливость закона Мура в той или иной степени подтверждена для процессов развития компьютерной техники и технологий, технического прогресса в авиации, автомобилестроении, космонавтике и для многих других технических систем. Подобные закономерности действуют также в процессах народонаселения и глобального потребления ресурсов, в процессах биологической и общественной эволюции, при региональном и глобальном развитии городов, регионов и стран, при описании опасных и вредных воздействий на человека и т.д.

События техносферы и оценка их вероятностных распределений

Закон Мура является сегодня основной эмпирической закономерностью, позволяющей описывать и прогнозировать прогресс в различных областях техники и общества [9, 12]. Однако, как указывалось ранее, скрытые механизмы формирования данной закономерности во многом остаются пока не изученными.

Любые наблюдаемые процессы и явления можно рассматривать как хронологические последовательности самых различных событий. В этом плане статистические наблюдения, представленные в виде временных рядов значений достигнутых показателей объектов, можно рассматривать как последовательности однородных событий. Поэтому анализ состояния и эволюционного развития систем и объектов может основываться на регистрации и изучении событий в их временной последовательности, а также соответствующих апостериорных вероятностей.

Из приведенного выше следует, что для изучения технического и общественного прогресса в каждом конкретном случае необходимо выделить последовательности однородных событий, отражающих динамику изменения значений основных показателей, и оценить их вероятности. При этом под однородными событиями понимаем ряд событий, однотипных по содержанию отражаемой информации и повторяющихся в течение всего процесса эволюционного развития объекта природы, техники или общества.

Отличительной особенностью любых статистических наблюдений является представление их в виде временных рядов данных, имеющих отношение к однотипным объектам. Такие массивы информации называются темпоральными данными. Структура темпоральных данных имеет вид трехмерных массивов «объекты – значения показателей – время». Таким образом, для каждого наблюдаемого объекта имеются многомерные временные ряды, отражающие динамику изменения значений характерных показателей. Значения уровней каждого ряда привязаны к определенным равноотстоящим моментам времени – чаще всего к годам их наблюдения при долгосрочном анализе.

Определим события, которые могут иметь отношение к статистической информации о состоянии объектов, представленной в виде темпоральных массивов данных. Будем считать, что для каждого года наблюдения имеется таблица данных, в которой по строкам перечислены однотипные объекты, а по столбцам заданы значения их характерных показателей.

В любой момент наблюдения каждого конкретного показателя любого объекта реализуется событие A, связанное с определением значения этого показателя, как характеристической величины данного события.

Применительно к такой информации можно выделить следующие основные события и привести зависимости для определения их вероятностей.

1. Если ведутся наблюдения одного показателя применительно к группе объектов (относятся к определенному году наблюдения и к одной таблице данных), то для каждого конкретного показателя реализуются события, связанные с определением значения этого показателя для разных объектов. Все события образуют полную группу и их вероятности могут быть нормируемы. Для дискретных событий $\sum_{i=1}^{m} w_i = 1$, для непрерывных случайных величин $\int_0^{\infty} f(x_k)\,dx_k = 1$, где i – номер объекта, x_k – некий общий показатель для изучаемой группы объектов, m – количество объектов, а $f(x_k)$ – плотность распределения случайной величины, которая оценивается по данным для всех m объектов, причем $x_k \geq 0$, так как показатели, характеризующие объекты, обычно положительные величины.

Все события наблюдения значений показателя x_k для разных объектов в данном случае можно рассматривать как совместные, так как они привязываются к одному и тому же моменту времени – например, годам.

Одномерные распределения вероятностей для одного показателя как случайной величины по данным для различных объектов легко находятся с использованием программных продуктов статистического анализа данных.

Основное условие для определения статистической вероятности известными методами связано с тем, что минимально необходимое количество объектов должно быть соизмеримо с числом $N = d \cdot f$, где f – число интервалов группирования данных для одного показателя, которое обычно принимается равным от 7 до 12, а d – число данных на одном интервале группирования (d=5 – 7).

Таким образом, для случайной величины X_k вероятность события, что наблюдаемый показатель меньше некоего заданного значения

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

x_k, определяется из функции распределения $w(x_k) = w(X_k < x_k)$, которая находится по данным наблюдений. С этой целью для m объектов все статистические данные (столбец x_k для определенной таблицы данных) группируют и строят гистограмму относительных частот. Для этого наблюдаемый диапазон показателя x_k разбивается на одинаковые интервалы и определяется число наблюдений, попадающих в каждый интервал. Далее находится относительная частота события по формуле $p_j = \frac{n_j}{N}$, где n_j – число наблюдений, которые попали в j-тый интервал группирования, N – общее число наблюдений.

Эмпирическая функция распределения величины X_k строится для кумулятивных относительных частот.

2. Если ведутся наблюдения некоторого показателя x_k применительно к конкретному i-тому объекту (относятся к разным таблицам данных), то для каждого конкретного показателя реализуются события, связанные с определением значения этого показателя для одного объекта, но в разные моменты времени.

В этом случае в любой момент наблюдения реализуется событие, связанное с определением значения этого показателя, как характеристической величины данного события. При этом вся последовательность наблюдений для показателя x_k представляется временным рядом, а события наблюдения значения этого показателя, относящиеся к разным таблицам базы данных, являются несовместными.

Все временные ряды значений показателя x_k для всех m объектов можно рассматривать как семейство реализаций некоторой случайной функции $X_k(\tau)$, где τ – время. При фиксированном значении τ случайная функция $X_k(\tau)$ превращается в обычную случайную величину X_k.

Для случайной функции $X_k(\tau)$ можно построить на основе ее известных реализаций эмпирический закон распределения вида $w = F_k(x_k, \tau)$.

Существует несколько возможных способов построения закона распределения данной случайной функции.

Например, **первый способ** предполагает, что имеется ряд сечений случайной функции $X_k(\tau)$ для моментов времени $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_p$. В эти моменты случайная функция $X_k(\tau)$ приняла m значений $x_{k,i}(\tau_q)$, как это показано в таблице 1. В данной таблице каждая строка соответствует определенной реализации, а каждый столбец – определенному моменту времени.

Таблица 1. – Наблюдаемые значения показателя объекта x_k с течением времени

Показатель $x_k(\tau)$	Время *τ, год*					
	τ_1	τ_2	……	τ_q	……	τ_p
Объект 1 $x_{k,1}(\tau)$	$x_{k,1}(\tau_1)$	$x_{k,1}(\tau_2)$	……	$x_{k,1}(\tau_q)$	……	$x_{k,1}(\tau_p)$
Объект 2 $x_{k,2}(\tau)$	$x_{k,2}(\tau_1)$	$x_{k,2}(\tau_2)$	……	$x_{k,2}(\tau_q)$	……	$x_{k,2}(\tau_p)$
…………………..	……	……	……	……	……	……
Объект i $x_{k,i}(\tau)$	$x_{k,i}(\tau_1)$	$x_{k,i}(\tau_2)$	……	$x_{k,i}(\tau_q)$	……	$x_{k,i}(\tau_p)$
…………………..	……	……	……	……	……	……
Объект m $x_{k,m}(\tau)$	$x_{k,m}(\tau_1)$	$x_{k,m}(\tau_2)$	……	$x_{k,m}(\tau_q)$	……	$x_{k,m}(\tau_p)$

В таблице символом $x_{k,i}(\tau_q)$ обозначено значение k-того показателя, соответствующее i-той реализации в момент времени τ_q

Предполагается, что для каждого момента времени $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_p$ на основе данных $x_{k,1}(\tau_q)$, $x_{k,2}(\tau_q)$, …. , $x_{k,m}(\tau_q)$ находятся p вероятностных распределений $F_k(x_k)$ для случайной величины X_k. В данном случае число p соответствует количеству таблиц в базе данных, которые относятся к различным моментам статистических наблюдений $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_p$. Далее используя методы аппроксимации для параметров полученных распределений определяется распределение случайной функции $F_k(x_k, \tau)$.

Необходимые одномерные распределения вероятностей $F_k(x_k)$ легко строятся на основе имеющихся данных с использованием программных продуктов статистического

Аноприенко А.Я., Аверин Г.В.
Донецкий национальный технический университет

анализа. Основная проблема в данном случае связана необходимостью получения для каждого момента времени $\tau_1, \tau_2, ..., \tau_p$ одинаковых видов статистических распределений. Для процессов эволюционного развития объектов это обычно справедливо, для быстроменяющихся процессов данное условие не всегда выполнимо.

Второй способ предполагает, что эмпирическое распределение случайной функции подбирается на основе использования модельных распределений, которые характерны для множества процессов, наблюдаемых в техносфере и обществе.

Известно, что при обработке данных в технике, биологии, климатологии, безопасности жизнедеятельности, статистике общества и т.д. очень часто эмпирическое распределение вероятностей значимых событий основывается на использовании *S*-образных зависимостей, когда вероятность события выражается через пробит:

$$\Pr = \alpha_0 + \alpha_1 \ln\frac{x}{x_0} + \alpha_2 \ln\frac{\tau}{\tau_0}, \qquad (3)$$

где x – некоторый показатель объекта, τ – текущее время, τ_0 – начальный момент времени наблюдения, x_0 – значение показателя в начальный момент времени τ_0, Pr – пробит-функция нормального распределения со средним, равным нулю, и дисперсией, равной единице:

$$w(\Pr) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\Pr} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt. \qquad (4)$$

На основе статистических данных (табл. 1) можно подобрать коэффициенты α_i и получить эмпирические распределения вида (3) для очень многих процессов изменения показателей объектов.

3. При выявлении на основе статистических данных зависимостей, характеризующих закон Мура, в литературе обычно не приводится подробная информация в виде исходных таблиц данных (табл. 1), а даются только итоговые зависимости (1) или их графическое представление для самых разных процессов эволюционного развития. Зависимости закона Мура часто определяют динамику основных технических параметров объектов техники, имеющихся на рынке. При этом значения этих параметров соответствуют максимально достигнутым значениям в соответствующем классе объектов на конец каждого года. Это говорит о том, что при анализе эти значения в каждом конкретном случае можно рассматривать как 90 или 95% квантили изучаемых показателей.

Характерный вид одномерного распределения вероятностей $F_k(x_k)$ для случайной величины X_k приведен на рисунке 1. Участки 1 и 2 соответствуют экспоненциальному росту его значений.

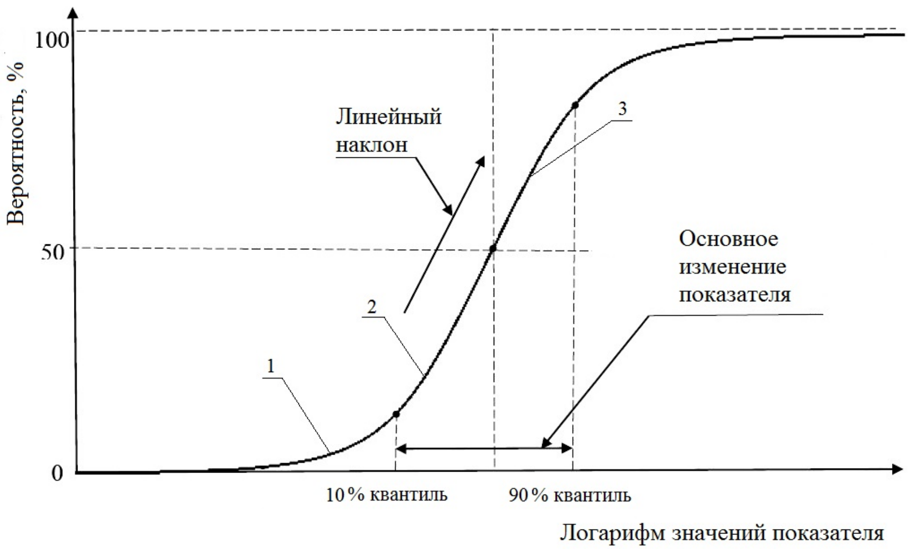


Рисунок 1. – Характерный S-образный вид одномерного распределения некоторого показателя $w = F_k(x_k)$

Эти участки описываются зависимостями, подобными закону Мура. Но при этом на участке распределения 1 происходит относительно медленное увеличение показателей, не всегда позволяющее однозначно выявить экспоненциальный характер роста. Участок 3, характеризующий уменьшение темпов изменения показателя, может в большинстве случаев рассматриваться как зеркальное отражение участков 1 и 2.

Таким образом, на основе статистических данных (табл. 1) можно попытаться найти эмпирическое распределение случайной функции $X_k(\tau)$ в виде $w = F_k(x_k, \tau)$. Если же

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

известна только зависимость закона Мура для некоторого объекта, то можно попытаться подобрать распределение случайной функции $X_k(\tau)$ в виде (3) или в виде другого известного закона распределения. Аналогичным образом можно найти статистические распределения для двумерной случайной функции вида $w = F(x_1, x_2, \tau)$, где x_1, x_2 – некоторые показатели, характеризующие процесс развития для определенного класса объектов.

Статистические распределения событий, характеризующих развитие

Для построения эмпирических распределений был применен способ, основанный на подборе параметров известного распределения. В качестве основного события, характеризующего процесс развития объекта, принималось событие, связанное с определением значения некоторого показателя, для которого имеется известная зависимость закона Мура в виде (2).

Для многих процессов статистические распределения событий наблюдения значений показателей в заданный момент времени представляются в виде [3, 5, 7, 15, 22–25]:

$$\Pr = \alpha_0 + \alpha_1 \ln \frac{x}{x_0}. \quad (5)$$

При этом, в общем случае, коэффициенты α_0 и α_1 могут зависеть от времени.

Если предположить, что закономерности закона Мура в каждом конкретном случае справедливы не только для максимально достигнутых значений показателей, но и для других значений, например, минимальных, модельных, средних и т.д., то эти закономерности можно распространить на любые квантили изучаемых показателей. В этом случае в координатах (w, x_k, τ) функция распределения $w = F_k(x_k, \tau)$ будет представлять собой некоторую *S*-образную поверхность. На данной поверхности для определенных значений вероятности пересечением плоскости $w = const$ можно задать семейство кривых, для которых $C = F_k(x_k, \tau)$, где C – постоянная, задаваемая в диапазоне $0{,}1 \le C \le 0{,}9$. Проекции полученных кривых на плоскость координат (x_k, τ) будут формировать семейство уравнений (2) в виде зависимостей закона Мура.

Обычно в распределении (4) коэффициент α_1 слабо зависит от времени, а коэффициент α_0 имеет выраженную зависимость. В этом случае, если считать, что α_1 постоянно, а $\alpha_0 = \alpha_{01} + \beta_{01}\tau$ линейно зависит от времени, из распределения $C_1 = \alpha_{01} + \beta_{01}\tau + \alpha_1 \ln \frac{x}{x_0}$ для некоторого значения вероятности $w = C$, $C_1 = \Pr(w)$ получим зависимость в виде закона Мура:

$$x = x_0\, e^{a + b\tau}, \quad (6)$$

где a и b – константы.

Таким образом, статистическое распределение (5) может определять вид зависимости закона Мура.

Проверим данный вывод на конкретном примере анализа данных. Для этого статистическое распределение двумерной случайной функции вида $w = F(x_1, x_2, \tau)$ определим на основе ретроспективной базы данных о развитии городов России [26].

В качестве основного события, характеризующего развитие города в определенном аспекте, принималось совместное событие одновременного наблюдения значений нескольких показателей. Статистическая вероятность совместных событий подсчитывалась алгоритмически [15, 22, 23].

Регрессионные зависимости статистической вероятности совместного события наблюдения значений двух показателей для определенной таблицы данных (для выбранного года наблюдения) определялись в виде:

$$\Pr = c_1 \ln \frac{x_1}{x_{1_0}} + c_2 \ln \frac{x_2}{x_{2_0}}, \quad (7)$$

где c_k – эмпирические константы. В качестве начальных значений показателей принимались минимальные значения показателей $x_{k_0} = x_{k\,\min}$ в группе городов (в столбцах данных), которые наблюдались в 2003 году. Некоторые из полученных уравнений состояний для различных комбинаций показателей приведены в таблице 2 [22, 23].

Как видно из таблицы, статистические вероятности совместных событий тесно связаны с логарифмами отношений значений показателей к их соответствующим начальным значениям. Коэффициенты корреляции для регрессионных зависимостей достаточно высоки (от 0,93 до 0,99). При этом наблюдается определенная зависимость параметров распределений вида (6) от времени (табл. 2), что естественно для данного класса объектов, отличающихся выраженной динамикой процессов.

Как видно для распределений таблицы 2, можно найти зависимости эмпирических коэффициентов c_k от времени. Для небольших периодов времени это могут быть линейные зависимости, для больших периодов – нелинейные зависимости.

Таблица 2. – Статистические распределения показателей развития городов для 2003, 2013 и 2015 годов

Год	Показатели городов	Статистические распределения	Коэффициент корреляции
2003	x_1, x_2	$\Pr = -2{,}724 + 0{,}658 \ln \frac{x_1}{x_{1\min}} + 1{,}081 \ln \frac{x_2}{x_{2\min}}$	0,93
2013	x_1, x_2	$\Pr = -4{,}614 + 0{,}706 \ln \frac{x_1}{x_{1\min}} + 1{,}168 \ln \frac{x_2}{x_{2\min}}$	0,96
2015	x_1, x_2	$\Pr = -4{,}700 + 0{,}696 \ln \frac{x_1}{x_{1\min}} + 1{,}160 \ln \frac{x_2}{x_{2\min}}$	0,96
2003	x_1, x_6	$\Pr = -2{,}499 + 0{,}788 \ln \frac{x_1}{x_{1\min}} + 0{,}273 \ln \frac{x_6}{x_{6\min}}$	0,99
2013	x_1, x_6	$\Pr = -3{,}089 + 0{,}738 \ln \frac{x_1}{x_{1\min}} + 0{,}353 \ln \frac{x_6}{x_{6\min}}$	0,99
2015	x_1, x_6	$\Pr = -3{,}025 + 0{,}711 \ln \frac{x_1}{x_{1\min}} + 0{,}350 \ln \frac{x_6}{x_{6\min}}$	0,99
2003	x_2, x_6	$\Pr = -2{,}870 + 1{,}262 \ln \frac{x_2}{x_{2\min}} + 0{,}413 \ln \frac{x_6}{x_{6\min}}$	0,97
2013	x_2, x_6	$\Pr = -5{,}891 + 1{,}226 \ln \frac{x_2}{x_{2\min}} + 0{,}470 \ln \frac{x_6}{x_{6\min}}$	0,98
2015	x_2, x_6	$\Pr = -5{,}919 + 1{,}234 \ln \frac{x_2}{x_{2\min}} + 0{,}437 \ln \frac{x_6}{x_{6\min}}$	0,98
2003	x_3, x_5	$\Pr = -4{,}309 + 0{,}441 \ln \frac{x_3}{x_{3\min}} + 0{,}465 \ln \frac{x_5}{x_{5\min}}$	0,98
2013	x_3, x_5	$\Pr = -4{,}543 + 0{,}295 \ln \frac{x_3}{x_{3\min}} + 0{,}510 \ln \frac{x_5}{x_{5\min}}$	0,97
2015	x_3, x_5	$\Pr = -4{,}684 + 0{,}279 \ln \frac{x_3}{x_{3\min}} + 0{,}526 \ln \frac{x_5}{x_{5\min}}$	0,97
2003	x_4, x_5	$\Pr = -3{,}416 + 0{,}448 \ln \frac{x_4}{x_{4\min}} + 0{,}409 \ln \frac{x_5}{x_{5\min}}$	0,98
2013	x_4, x_5	$\Pr = -4{,}530 + 0{,}334 \ln \frac{x_4}{x_{4\min}} + 0{,}561 \ln \frac{x_5}{x_{5\min}}$	0,98
2015	x_4, x_5	$\Pr = -4{,}623 + 0{,}300 \ln \frac{x_4}{x_{4\min}} + 0{,}585 \ln \frac{x_5}{x_{5\min}}$	0,96
2003	x_3, x_4	$\Pr = -3{,}842 + 0{,}461 \ln \frac{x_3}{x_{3\min}} + 0{,}446 \ln \frac{x_4}{x_{4\min}}$	0,98
2013	x_3, x_4	$\Pr = -4{,}312 + 0{,}431 \ln \frac{x_3}{x_{3\min}} + 0{,}357 \ln \frac{x_4}{x_{4\min}}$	0,98
2015	x_3, x_4	$\Pr = -4{,}354 + 0{,}455 \ln \frac{x_3}{x_{3\min}} + 0{,}317 \ln \frac{x_4}{x_{4\min}}$	0,96

x_1 – среднегодовая численность работников организаций; x_2 – среднемесячная номинальная начисленная заработная плата; x_3 – объем товаров, работ и услуг промышленного производства; x_4 – объем работ в строительстве; x_5 – оборот розничной торговли; x_6 – инвестиции в основной капитал

Это позволяет оценивать вероятностные распределения случайных функций для различных периодов упреждения прогнозов. Например, на основе данных таблицы 2 для 2020 года путем линейной экстраполяции найдены вероятностные распределения для комбинаций показателей x_3, x_4 и x_5 в виде [23]:

$$\Pr = -4{,}622 + 0{,}449 \ln \frac{x_3}{x_{3\min}} + 0{,}220 \ln \frac{x_4}{x_{4\min}};$$

$$\Pr = -4{,}754 + 0{,}205 \ln \frac{x_3}{x_{3\min}} + 0{,}549 \ln \frac{x_5}{x_{5\min}};$$

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

$$\Pr = -5{,}201 + 0{,}260 \ln \frac{x_4}{x_{4\,\min}} + 0{,}620 \ln \frac{x_5}{x_{5\,\min}} .$$

Из приведенных результатов видно, что статистические распределения случайных функций в данном случае могут быть найдены по имеющимся данным в виде:

$$\Pr = \alpha_0(\tau) + \alpha_1(\tau) \ln \frac{x_\eta}{x_{\eta_0}} + \alpha_2(\tau) \ln \frac{x_\mu}{x_{\mu_0}} , \qquad (8)$$

где x_η и x_μ – некоторые показатели, характеризующие процесс развития для определенного класса объектов.

Выводы

Таким образом, анализ статистических распределений достигнутых значений показателей развития объектов дает основания предполагать, что одним из вариантов описания эмпирических зависимостей закона Мура могут служить вероятностные закономерности, которые свойственны процессам развития техносферы и общества. Это позволяет изучать процессы развития, исходя из анализа временных последовательностей различных событий и использовать при обработке данных инструментарий теории вероятности и математической статистики.

В этом плане видна реальная возможность дальнейших исследований в направлении изучения множества распределений для различных временных рядов показателей, которые длительное время статистически наблюдаются в техносфере и обществе. Это даст возможность получить дополнительный эмпирический материал для развития теории в этой области.

Список литературы

1. Мартино Дж. Технологическое прогнозирование. – М.: Прогресс, 1977. – 592 с.
2. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса. – М.: Прогресс, 1970. – 568 с.
3. E.J. Henley and H. Kumamoto. Reliability engineering and risk assessment. By Englewood Cliffs, Prentice-Hall, New Jersey, 1981, 568 p.
4. Маршал В. Основные опасности химических производств. – М.: Мир, 1989. – 672 с.
5. Временные методические указания по обоснованию предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – М.: Мин-во здравоохранения СССР, Гл. санитарно-эпидемиологич. упр. 1989. – 110 с.
6. Verhulst P.F. Recherches Mathématiques sur La Loi D'Accroissement de la Population, Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles, 18, Art. 1, 1–45, 1845 (Mathematical Researches into the Law of Population Growth Increase).
7. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Математические модели опасности и риска в теории техногенной безопасности // Вісник Донецького університету. Серія А. Природничі науки, № 2/2005. – С. 296–302.
8. Аноприенко А.Я. Закономерности развития компьютерных технологий и обобщенный закон Мура // Вестник Донецкого национального технического университета, №2(2). 2016. – С. 3–17.
9. Аноприенко А.Я. Системодинамика техносферы: как измерить технический прогресс // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(8)–2(9). 2015. – С. 45–66.
10. Аноприенко А.Я. Пятая волна индустриализации и третья промышленная революция // Вестник Донецкого национального технического университета, №1(1). 2016. – С. 3–12.
11. Аноприенко А.Я. Системодинамика ноотехносферы: основные закономерности // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(6)–2(7). 2014. – С. 11–29.
12. Аноприенко А.Я. Системодинамика техносферы: технический прогресс и нооритмы // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(10)–2(11). 2016. – С. 32–58.
13. Encyclopedia of complexity and systems science. 2009 / R.A. Meyers (Editor-in-chief). Berlin, Springer, 10370.
14. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. URL: http://www.galactic.org.ua/prostranstv /anohin-7-1.htm (15.11.18).
15. Аверин Г.В. Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с. URL: http:// dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17840 (15.11.18).
16. Moore G.E. Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*, vol. 38, no 8, Apr. 1965: 114–117.
17. Moore G.E. Progress in digital integrated electronics. *Proc. of the International Electron Devices Meeting (IEDM'75)*, vol. 21, 1975: 11–13.
18. Moore G.E. Lithography and the Future of Moore's Law. *SPIE*, Vol. 2438, 1995: 2–17.
19. Rupp K. and Selberherr S. The Economic Limit to Moore's Law. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing Journal*, vol. 24, no 1, February 2011, 4 p.
20. Feng W. The Importance of Being Low Power in High Performance Computing. *Cyberinfrastructure Technology Watch Quarterly*, vol. 1, no. 3, August 2005: 12–20.
21. Богапов Г. – 50 лет – закону Мура! Itnews, 15 июня 2015.
22. Звягинцева А.В. Вероятностные методы комплексной оценки природно-антропогенных систем / Под ред. проф. Г.В. Аверина, 2016. – М.: Спектр. – 257 с. URL: http://dspace.bsu.edu.ru/ handle/123456789/17837 (15.11.18).

23. Звягинцева А.В. Теоретические основы событийной оценки состояния и развития урбанизированных территорий. Дис. … д-ра техн. наук: 05.13.01 / Звягинцева Анна Викторовна. [Место защиты: ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»]. – Белгород, 2018. – 486 с.
24. Звягинцева А.В. Системы оценки опасности и риска при загрязнении атмосферного воздуха: попытка обобщения подходов // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(6)–2(7). 2014. – С. 131–163.
25. Сафонов В.С., Одишария Г.Э., Швыряев А.А. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. – М.: Олита, 1996. – 207 с.
26. База данных Федеральной службы государственной статистики. 2018. URL: http://www.gks.ru/ (10.11.18).

References (transliteration)

1. Martino Dzh. Tehnologicheskoe prognozirovanie [Technology foresight]. Moscow, Progress, 1977, 592 p. (in Russian).
2. Janch Je. Prognozirovanie nauchno-tehnicheskogo progressa [Technology forecasting]. Moscow, Progress, 1970, 568 p. (in Russian).
3. E.J. Henley and H. Kumamoto. Reliability engineering and risk assessment. By Englewood Cliffs, Prentice-Hall, New Jersey, 1981, 568 p.
4. Marshal V. Osnovnye opasnosti himicheskih proizvodstv [Main hazards of chemical production]. Moscow, Mir, 1989, 672 p. (in Russian).
5. Vremennye metodicheskie ukazanija po obosnovaniju predel'no dopustimyh koncentracij (PDK) zagrjaznjajushhih veshhestv v atmosfernom vozduhe naselennyh mest [Temporary methodological guidelines for justifying maximum allowable concentration (LOC) of pollutants in the atmospheric air of populated areas]. Moscow, Ministerstvo zdravoohranenija SSSR, Glavnoe sanitarno-jepidemiologicheskoe upravlenie. 1989, 110 p. (in Russian).
6. Verhulst P.F. Recherches Mathématiques sur La Loi D'Accroissement de la Population, Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles, 18, Art. 1, 1–45, 1845 (Mathematical Researches into the Law of Population Growth Increase).
7. Averin G.V., Zviaginseva A.V. Matematicheskie modeli opasnosti i riska v teorii tehnogennoj bezopasnosti [Mathematical danger and risk models in the technogenous safety theory]. *Visnik Donec'kogo universitetu. Serija A. Prirodnichi nauki*, №2/2005: 296–302. (in Russian).
8. Anoprienko A.Y. Zakonomernosti razvitiya kompyuternyih tehnologiy i obobschennyiy zakon Mura [The computer technology development laws and the Moore generalized law]. Vestnik Donetskogo natsionalnogo tehnicheskogo universiteta, no 2(2), 2016: 3–17. (in Russian).
9. Anoprienko A.Y. Sistemodinamika tehnosferyi: kak izmerit tehnicheskiy progress [Systemdynamics of tehnosphere: how to measure the technical progress]. Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve, no 1(8)–2(9). 2015: 45–66. (in Russian).
10. Anoprienko A.Y. Pyataya volna industrializatsii i tretya promyishlennaya revolyutsiya [The fifth wave of industrialization and the third industrial revolution]. Vestnik Donetskogo natsionalnogo tehnicheskogo universiteta, no 1(1), 2016: 3–12. (in Russian).
11. Anoprienko A.Y. Sistemodinamika nootehnosferyi: osnovnyie zakonomernosti [System dynamics of nootehnosphere: basic laws]. Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve, no (6)–2(7). 2014: 11–29. (in Russian).
12. Anoprienko A.Y. Sistemodinamika tehnosfery: tehnicheskij progress i nooritmy [System dynamics of tehnosphere: technical progress and noorhythms]. Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve, no 1(10)–2(11). 2016: 32–58. (in Russian).
13. Encyclopedia of complexity and systems science. 2009 / R.A. Meyers (Editor-in-chief). Berlin, Springer, 10370.
14. Anohin P.K. Principial'nye voprosy obshhej teorii funkcional'nyh system [Fundamental questions of the General theory of functional systems]. Available at: http://www.galactic.org.ua/prostranstv/anohin-7-1.htm (accessed November 15, 2018). (in Russian).
15. Averin G.V. Sistemodinamika [Systemdynamics]. Donetsk, Donbass. 2014, 405 p. Available at: http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17840 (accessed November 15, 2018). (in Russian).
16. Moore G.E. Cramming more components onto integrated circuits / Electronics, vol. 38, no 8, Apr. 1965: 114–117.
17. Moore G.E. Progress in digital integrated electronics / Proc. of the International Electron Devices Meeting (IEDM'75), vol. 21, 1975: 11–13.
18. Moore G.E. Lithography and the Future of Moore's Law / SPIE, Vol. 2438, 1995: 2–17.
19. Rupp K. and Selberherr S. The Economic Limit to Moore's Law // IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing Journal, vol. 24, no 1, February 2011, 4 p.
20. Feng W. The Importance of Being Low Power in High Performance Computing // Cyberinfrastructure Technology Watch Quarterly, vol. 1, no. 3, August 2005: 12–20.
21. Bogapov G. 50 let – zakonu Mura! Itnews, 15 ijunja 2015 [50 years-Moore's law! Itnews, June 15, 2015] (in Russian).
22. Zviagintseva A.V. Verojatnostnye metody kompleksnoj ocenki prirodno-antropogennyh sistem [Probabilistic Methods of a Complex Assessment of Natural and Anthropogenic Systems] / Pod red. prof. G.V. Averina, 2016. Moscow, Spektr, 257 p. Available at: http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17837 (accessed November 15, 2018)). (in Russian).

23. Zviagintseva A.V. Teoreticheskie osnovy sobytijnoj ocenki sostojanija i razvitija urbanizerovannyh territorij. Dis. … d-ra tehn. nauk: 05.13.01 [Theoretical bases of event-based assessment of the state and development of urbanized territories. Dis. ... Dr. tech. sciences: 05.13.01] / Zviagintseva Anna Viktorovna. [Mesto zashhity: FGAOU VO "Belgorodskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet"]. Belgorod, 2018, 486 p. (in Russian).
24. Zviagintseva A.V. Sistemy ocenki opasnosti i riska pri zagrjaznenii atmosfernogo vozduha: popytka obobshhenija podhodov [Systems of risk assessment when air pollution: an attempt to summarize the approaches]. *Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve*, no 1(6)–2(7). 2014: 131–163. (in Russian).
25. Safonov V.S., Odisharija G.Je., Shvyrjaev A.A. Teorija i praktika analiza riska v gazovoj promyshlennosti [The theory and practice of risk analysis in the gas industry]. Moscow, Olita, 1996, 207 p. (in Russian).
26. Baza dannyh Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki. [Database of Federal State Statistics Service]. 2017. Available at: http://www.gks.ru/ (accessed November 10, 2018).

Анопрієнко А.Я., Аверін Г.В. «Представлення закону Мура статистичними розподілами часової послідовності подій». *Однією з найважливіших закономірностей, які визначають розвиток техніки і технологій, є емпіричний закон Мура, що характеризує зміни значень їхніх спостережуваних показників від часу. Приховані механізми формування даної закономірності багато в чому залишаються поки не вивченими. Але передбачається, що ця закономірність може досить адекватно відображати деякі ймовірнісні закономірності, які властиві процесам розвитку техносфери й суспільства. Запропоновано статистичні спостереження у вигляді часових рядів значень досягнутих показників розглядати як реалізації випадкових функцій. Для цього випадку вивчено способи отримання одновимірних статистичних розподілів випадкової функції на основі статистичних розподілів відповідної випадкової величини. Показано, що при відомій залежності закону Мура для деякого показника, можна за допомогою методу пробіт-регресії підібрати розподіл відповідної випадкової функції. Наведено приклади оцінки статистичних розподілів. Отримані результати дозволяють виявити ймовірнісні закономірності, які характерні для процесів розвитку техносфери і суспільства.*

Ключові слова: закон Мура та його залежності, події техносфери, часові ряди показників, випадкові величини та функції, статистичні розподіли показників розвитку.

Anopriyenko A.Y., Averin G.V. "Representation of Moore's law by statistical distributions of the time sequence of events". *One of the most important regularities that determine the development of technology is Moore's empirical law, which characterizes changes in the values of their observed indicators from time to time. The hidden mechanisms of this pattern formation remain largely unexplored. But it is assumed that this pattern can adequately reflect some probabilistic patterns inherent in the processes of development of the technosphere and society. It is proposed to consider statistical observations in the form of time series of values of achieved indicators as implementations of random functions. For this case, we have studied methods for obtaining one-dimensional statistical distributions of a random function based on statistical distributions of the corresponding random variable. It is shown that with a known dependence of Moore's law for a certain indicator, it is possible to use the probit regression method to select the distribution of the corresponding random function. Examples of estimation of statistical distributions are given. The results obtained allow us to identify probabilistic patterns characteristic of the processes of development of the technosphere and society.*

Keywords: Moore's law and its dependencies, the events of the technosphere, time series of indicators, random variables and functions, statistical distributions of development indicators

Статья поступила в редакцию 10.12.2018
Рекомендована к публикации канд. техн. наук А.В. Звягинцевой

Ссылка для цитирования статьи
For citation

Аноприенко А.Я., Аверин Г.В. Представление закона Мура статистическими распределениями временной последовательности событий // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(14)–2(15). 2018. – С. 63–72.

Anopriyenko A.Y., Averin G.V. Representation of Moore's law by statistical distributions of the time sequence of events. 2018. *System analysis and information technology in environmental and social sciences,* no.1(14)–2(15): 63–72. (in Russian).

Раздел 2

Прикладной системный анализ и моделирование

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

УДК 004.451.7

Уровни моделирования систем реального времени

Достлев Ю.С., Чередникова О.Ю.
Донецкий национальный технический университет
cs_yurij@donntu.org, olga.donntu@gmail.com

Достлев Ю.С., Чередникова О.Ю. «Уровни моделирования систем реального времени». *Выполнен анализ структурных особенностей построения систем автоматизации технологических процессов на базе средств систем реального времени. Выделены задачи, которые решаются каждым из элементов структуры в общем контексте решения единой задачи реального времени – автоматизации управления процессами конкретного объекта. Особое внимание уделено функциям реального времени в среде каждого из элементов. Рассмотрены особенности интерфейсов между отдельными компонентами структуры. Акцентировано внимание на особенностях параметров, которые оказывают существенное влияние на точность получения решения единой задачи автоматизации данного объекта. Выполнен анализ требований, предъявляемых к элементам структуры на различных этапах проектирования как всей системы автоматизации в целом, так и средств реализации каждого из элементов. Сделан вывод о функциях и совокупности требований к построению моделей при проектировании систем реального времени, как основы построения систем автоматизации технологических процессов. Предложена многоуровневая система моделей для поддержки проектирования и верификации средств систем реального времени на различных этапах проектирования систем автоматизации. Предложено функциональное содержание моделей каждого из элементов в привязке к особенностям уровня модельной среды. В качестве основного критерия оценки результатов моделирования используется точность реализации функций элементов в соответствии с динамическими параметрами объекта, средств информационного сопряжения и центрального вычислителя, то есть к параметрам реального времени.*

Ключевые слова: система реального времени, модели динамических объектов, критерии реального времени систем, этапы проектирования систем автоматизации, решение задачи реального времени, задержки транспортировки и обработки параметров состояний объекта.

Введение

Системы реального времени (РВ) являются основой для построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) во внешних по отношению к вычислителю объектах. В зависимости от особенностей объекта, от области, к которой принадлежит объект, определяется экономическая целесообразность использования систем его управления, а также совокупность функций, возлагаемых на систему и ее структура. Проектирование, реализация и внедрение систем реального времени в составе конкретного объекта обосновывается в первую очередь экономическими показателями. Хотя в ряде случаев во главу ставится обеспечение безопасности технологических процессов, персонала и окружающей среды, но в конечном итоге все эти показатели тоже экономически оцениваются. В соответствии с этим внедряемые АСУ ТП должны обладать высоким уровнем надежности, чтобы обеспечить окупаемость разработки в максимально возможные сроки [1].

Для построения эффективной системы моделей необходимо рассмотреть обобщенную структуру системы автоматизации (рис. 1).

Проектирование любой системы РВ включает в себя разработку и обоснование состава и параметров средств информационного сопряжения и оборудования вычислителя, а также разработку программного обеспечения вычислителя, в функции которого включаются управление информационными потоками в системе и алгоритмическая обработка в соответствии с целевой функцией системы в целом [2, 3].

Для обеспечения требуемого уровня надежности проектируемые средства должны проходить апробацию в модельной среде с максимальной адекватностью к среде будущего функционирования системы в комплексе с объектом.

Дополнительно, в большинстве случаев, проектирование должно учитывать ограниченный уровень знаний математического описания процессов, как в среде самого объекта, так и особенностей воздействия со стороны окружающей среды [4, 5].

Кроме этого проектирование всех средств системы должно обеспечить реализацию функций контроля и управления процессами в объекте с обеспечением заданной точности и безопасности с учетом динамических свойств объекта и процессов окружающей среды.

Таким образом, с учетом требований к проектируемым средствам систем РВ, а также особенностей математического описания процессов в объекте и окружающей среды, проектирование должно основываться на разработке множества моделей, совокупность которых обеспечит верификацию проектирования как отдельных элементов системы, так и всей системы в целом.

Для обоснования числа моделей, их функционального назначения, а также способов реализации и методики использования, связности и преемственности системы моделей, необходимо выполнить анализ особенностей отдельных составляющих обобщенной структуры системы автоматизации.

Рисунок 1. – Обобщенная структура системы РВ как основа системы автоматизации технологических процессов объекта

Особенности отдельных элементов системы моделирования СРВ

Любая система реального времени включает в свою структуру процесс, который является задатчиком реального времени [2, 6]. В большинстве случаев таким процессом является объект или его некоторая часть, наблюдение или управление параметрами которого является целью создания данной СРВ. Кроме того динамические параметры задатчика, то есть автоматизируемого объекта, дополняются динамическими параметрами окружающей среды. Влияние окружающей среды, в зависимости от решаемых системой автоматизации задач, может рассматриваться как одно- или двухстороннее, то есть существует влияние среды на объект и воздействие объекта на параметры окружающей среды [7].

Параметры элемента объекта в системе определяют алгоритмы выполнения функций контроля отдельных его параметров, а также оптимального управления его состояниями.

Элемент объекта, а точнее математическое описание процессов в нем, является основой для обоснования величины интервала дискретизации переменной времени в среде вычислителя. Это и будет единица внутреннего представления переменной времени и в ее единицах рассчитываются величины дискретизации в канале средств сопряжения вычислителя с объектом [8, 9].

Таким образом, можно выделить следующие особенности элемента объекта в составе системы РВ [10, 11]:

- математическое описание процессов объекта;
- допустимое значение интервала дискретизации переменной времени в среде вычислителя;
- множество переменных, передаваемых по потоку канала средств сопряжения вычислителя с объектом, участвующих в решении единой задачи автоматизации данного объекта;
- множество параметров, изменение которых зависит от воздействий со стороны окружающей среды.

Элемент окружающей среды характеризуется совокупностью существенных параметров, присутствие и величины которых в темпе реального времени оказывают значительное влияние на параметры технологических процессов объекта. Во многом изменения параметров окружающей среды могут описываться функциями табличного вида, полученными на основе обработки экспериментальных диаграмм. В большинстве случаев изменения носят случайный характер и их значения могут быть приведены к скачкообразным изменениям в различные моменты времени и к некоторой совокупности условно константных значений.

Кроме воздействия на параметры объекта в соответствии с достижением требуемой точности выполнения алгоритмов контроля и управления могут учитываться вектора воздействия на все другие элементы системы.

Элемент средств сопряжения вычислителя с объектом реализует в большинстве случаев только транспортные функции, обеспечивает двухстороннее информационное взаимодействие объекта и вычислителя в процессе решения единой задачи автоматизации данного объекта. Основные требованиями к реализации функций данного объекта могут быть объединены в требования по точности и по времени транспортировки. В большинстве случаев функции данного элемента реализуются аппаратными средствами, которые и определяют точностные параметры. Значения временных параметров зависят от особенностей интерфейсного взаимодействия с вычислителем. В ряде случаем могут быть использованы блоки с дополнительным функциональным преобразованием передаваемой информации.

Элемент вычислителя алгоритмической обработки параметров системы РВ является центральным элементом любой системы автоматизации. В соответствии с этим он должен обладать наибольшим числом особенностей, а соответственно и требований к его корректной реализации в составе системы.

Все множество возлагаемых на вычислитель функций можно функционально разделить на два подмножества:

- управление решением единой задачи в темпе внутреннего времени, параметры которого достаточны для получения решения с допустимым уровнем точности;
- алгоритмическая обработка всей информации о процессах во всех элементах системы с формированием управляющей информации.

Основными функциями вычислителя являются: реализация алгоритма решаемой задачи автоматизации; управление информационным обменом по каналам с параметрами объекта и персонала; контроль уровня достоверности решения задачи автоматизации в темпе реального времени в соответствии с динамическими характеристиками объекта; ведение различного рода протоколов и журналов, позволяющих реализовать последующий анализ правильности, точности и оптимальности решения задачи контроля и управления; управление соответствующими параметрами объекта; учет воздействия параметров окружающей среды на все элементы системы [12].

Элемент средств сопряжения вычислителя с персоналом реализует основную функцию – визуализацию текущих и ретроспективных параметров системы с оценочными характеристиками и при диспетчерском управлении, рекомендации изменения параметров процессов объекта по непосредственному интерфейсу персонал – объект. Все функции визуализации в составе данных средств сопряжения должны реализоваться в темпе реального времени, с задержками, не превышающими достоверность и удобство наблюдения текущих состояний объекта непосредственно персоналом. Основой реализации данного элемента являются аппаратно-программные средства различного уровня заложенного «интеллекта».

Элемент персонала (человеческих ресурсов) в составе системы является обязательным и организация взаимодействия с ним должна подчиняться ряду требований, основными из которых являются: проблемная ориентация синтаксиса и семантики языка сопряжения с вычислителем; учет профессиональных особенностей в отображении и реализации управления параметрами объекта; эргономика и комфортность участия в функциях системы; минимизация времени подготовки ввода управляющих воздействий на параметры объекта, а также возможность вносить оперативные коррективы в работу всей системы.

Учет всего множества особенностей и требований ко всем элементам системы позволяет проектировать надежные, полнофункциональные и конкурентоспособные системы автоматизации на базе систем реального времени.

На этапах проектирования необходимо обеспечить экспериментальную отладку и исследование функциональности, информационную и физическую надежность каждого из создаваемых элементов системы и в первую очередь проверку достоверности их функционирования в темпе динамических характеристик объекта, то есть в темпе реального времени [13]. Все это можно реализовать на множестве моделей, иерархия уровней и структура которых во многом будет определяться особенностями конкретного объекта и решаемой задачи автоматизации его процессов.

Задачи моделирования

Основные уровни моделирования любой системы РВ соответствуют последовательностям проектирования и требованиям соответствующих государственных стандартов. Вариант структуры системы моделей, поддерживающей все этапы проектирования систем РВ в составе систем автоматизации технологических процессов объектов, приведен на рисунке 2.

Каждый из уровней решает определенную совокупность задач в обосновании ряда параметров системы РВ, которые являются актуальными на данном уровне.

На этапе исследования объекта контроля и управления создается модель технологических процессов в объекте. Модель в первом приближении может не учитывать воздействия окружающей среды, если уровень их не нарушает функции процессов в целом. Основной целью моделирования на данном уровне является анализ динамических характеристик отдельных параметров и формирование векторов наблюдаемых и управляемых параметров. Кроме того проверяются диапазоны корректного управления процессами объекта. Уточнение модели достигается включением в контур функций воздействия со стороны окружающей среды некоторого множества параметров, которые определяются как существенные. В процессе моделирования путем вариации мощности множества диапазонов и характера изменения значений уточняется множество существенных параметров окружающей среды и наиболее критичные для процессов объекта варианты изменения их значений.

Таким образом, для модели объекта окончательно формируется математическое описание процессов в объекте и воздействий со стороны объекта.

На *уровне эскизного проектирования* системы управления создаются и исследуются модели системы сопряжения объекта и вычислителя алгоритмической обработки. Модели данного уровня могут иметь несколько подуровней, различающихся множеством взаимосвязей с моделями различных элементов системы. Для наиболее полного учета особенностей решаемой задачи автоматизации конкретного объекта, на данном уровне моделируются различного рода особые и аварийные ситуации в среде объекта, параметров воздействия со стороны окружающей среды и возможные ошибки персонала системы.

Для оценки допустимых значений задержек транспортировки и обработки значений отдельных параметров в составе информационных потоков обмена, отдельные составляющие моделируются по временному фактору. Оцениваются допустимые длительности интервалов выполнения алгоритмической обработки в среде вычислителя [12, 6]. Основой оценки является получение на модели требуемой точности и допустимости изменения параметров в модели объекта.

По итогам формируется совокупность требований к реализации проекта с конкретными значениями параметров реального времени.

На *уровне реализации – разработки проекта* на моделях проверяются все принимаемые решения в среде программного обеспечения с реализацией в среде принятого в проекте вычислителя.

Результаты моделирования позволяют сделать вывод о готовности всей совокупности средств системы к проведению опытной эксплуатации на оборудовании реального объекта [14].

Переход к внедрению системы должен предваряться созданием уровня модельной среды, позволяющей на моделях *проводить обучение персонала системы*. Актуально включение в состав данного уровня совокупности моделей особых и аварийных ситуаций, апробированных ранее на уровне эскизного проектирования.

На этапе *внедрения системы* и *в течение всего ее жизненного цикла* совокупность моделей всех уровней необходима для сопровождения системы.

При этом система моделей должна быть дополнена модулями динамического контроля, которые позволяют проводить идентификацию текущих параметров объекта с прогнозируемыми в соответствии с используемой моделью этих процессов [15].

Кроме того, на этапе сопровождения система моделей дополняется средствами автоматизации анализа точности и оптимальности получаемого решения на основе анализа сохраненных в базе данных результатов контроля и управления данным объектом, включая оценку эффективности работы технологического персонала системы.

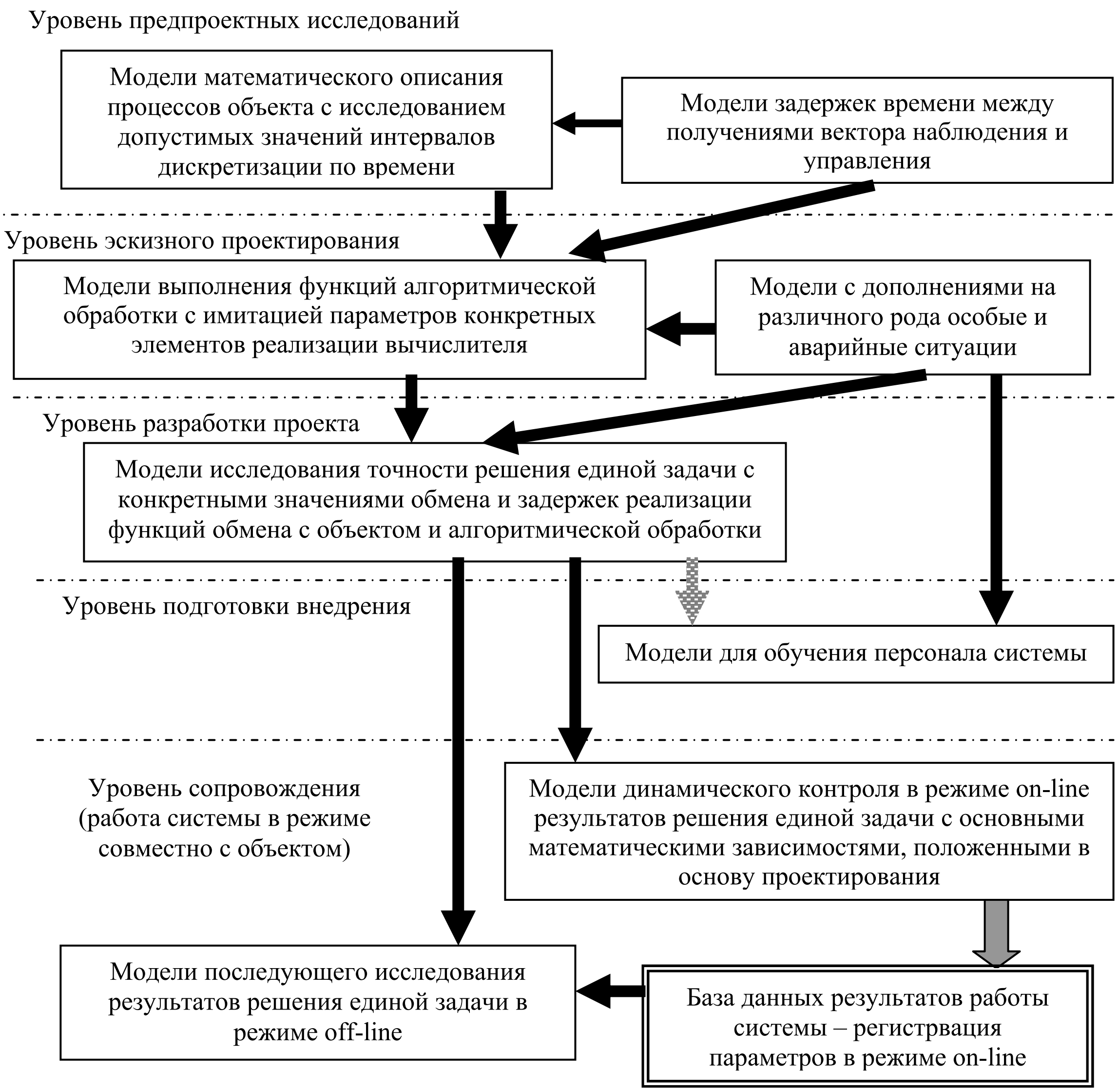


Рисунок 2. – Структура иерархической системы моделей проектируемой системы управления объектом – системы РВ

Выводы

Такой состав и структура уровней моделей позволит с наибольшей достоверностью проектировать системы реального времени в составе АСУ ТП.

Модельная поддержка всех этапов проектирования в совокупности с возможностью передачи всей моделирующей среды на этап промышленного внедрения позволяет обеспечить не только эффективное проектирование, но и возможность с помощью моделей исследовать особые и аварийные ситуации, которые могут возникать в процессе эксплуатации системы в комплексе с реальным объектом.

Список литературы

1. Достлев Ю.С., Чередникова О.Ю. Событийная модель технологического объекта в системах реального времени // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(8)–2(9). 2015. – С. 68–72.
2. Достлев Ю.С. Особенности формирования свойств модулей обработки периодических событий в системах реального времени // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(6)–2(7). 2014. – С. 117–120.
3. Достлев Ю.С. Повышение информационной надежности оценки текущего состояния объекта автоматизации // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(4)–2(5). 2013. – С. 96–99.
4. Лапко В.В., Чередникова О.Ю. Математическая модель переходных аэродинамических процессов в вентиляционных сетях с сосредоточенными и распределенными параметрами // Научные труды ДонНТУ,

серия Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем, №7(150). 2008. – С. 40–51.
5. Достлев Ю.С., Чередникова О.Ю. Оптимизация форматов представления параметров времени событий в системах реального времени // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(10)–2(11). 2016. – С. 131–137.
6. Достлев Ю.С., Раскидкин В.В. Проектирование интерфейсной поддержки системы анализа информационной достоверности первичной информации о текущих состояниях объекта автоматизации // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(10)–2(11). 2016. – С. 136–145.
7. Дж. Мартин. Программирование для вычислительных систем реального времени. – М.: Наука, 1975. – 359 с.
8. Древс Ю.Г. Системы реального времени: технические и программные средства. – М.: МИФИ, 2010. – 320 с.
9. Сулейманова А.М. Системы реального времени: уч. пос. / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2004. – 292 с.
10. Блэкман М. Проектирование системы реального времени. – М.: Мир, 2007. – 346 с.
11. Tanenbaum A. Modern Operating Systems. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall. 2008, 160 p.
12. Янг С.Д. Алгоритмические языки реального времени: конструирование и разработка. – М.: Мир, 2008. – 400 с.
13. Rabih Chrabieh. Task – less Approach Simplifies RTOS Architecture. Available at: http://archive.cotsjournalonline.com/articles/view/100030. (accessed November 15, 2018).
14. Бирюков О.В., Новиков А.Ю., Шишкевич А.А. EtherCAT – интерфейс территориально распределенных контрольно – измерительных систем реального времени // Электронные информационные системы, №1(4). 2015. – С. 49–59.
15. Бурдонов И.Б. Операционные системы реального времени. URL: http://www.ispras.ru/preprints/docs/prep_14_2006.pdf. (15.11.18).

References (transliteration)

1. Dostlev Y.S., CHerednikova O.Y. Sobitiyna model tehnologicheskogo obiekta v sistemah realnogo vremeni [Event model of a technological object in real – time systems]. *Sistemnyj analiz i informacionnye tekhnologii v naukah o prirode i obshchestve*, no1(8)–2(9). 2015: 68–72.
2. Dostlev Y.S. Osobennosti formirovaniya svojstv modulej obrabotki periodicheskih sobytij v sistemah real'nogo vremeni [Features of formation properties of processing units periodic events in real – time systems]. *Sistemnyj analiz i informacionnye tekhnologii v naukah o prirode i obshchestve*, no1(6)–2(7). 2014: 117–120.
3. Dostlev Y.S. Povyshenie informacionnoj nadezhnosti ocenki tekushchego sostoyaniya ob"ekta avtomatizacii [Improving of information reliability for assessment of the current state of the automation object]. *Sistemnyj analiz i informacionnye tekhnologii v naukah o prirode i obshchestve*, no1(4)–2(5). 2013: 96–99.
4. Lapko V.V., Cherednikova O.Y. Matematicheskaya model' perekhodnyh aehrodinamicheskih processov v ventilyacionnyh setyah s sosredotochennymi i raspredelennymi parametrami [A mathematical model of transient aerodynamic processes in ventilation systems with concentrated and distributed parameters]. *Nauchnye trudy DonNTU, seriya Problemy modelirovaniya i avtomatizacii proektirovaniya dinamicheskih system*, no7, 2008: 40–51.
5. Dostlev J.S., Cherednikova O.J. Optimizacija formatov predstavlenija parametrov vremeni sobytij v sistemah real'nogo vremeni [Optimization of formats for representing the time parameters of events in real – time systems]. *Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve*, no1(10)–2(11), 2016: 131–137.
6. Dostlev J.S., Raskidkin V.V. Proektirovanie interfejsnoj podderzhki sistemy analiza informacionnoj dostovernosti pervichnoj informacii o tekushhih sostojanijah ob'ekta avtomatizacii [Design of interface support for the system for analyzing the information reliability of primary information about the current states of the automation object]. *Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve*, no1(10)–2(11), 2016: 136–145. (in Russian).
7. D. Martin. Programmirovanie dlja vychislitel'nyh sistem real'nogo vremeni [Programming for real-time computing]. Moscow, Nauka, 1975, 359 p. (in Russian).
8. Drevs Y.G. Sistemy real'nogo vremeni: tehnicheskie i programmnye sredstva [Real – time systems: hardware and software]. Moscow, MIFI, 2010, 320 p.
9. Sulejmanova A.M. Sistemy real'nogo vremeni: uchebnoe posobie [Real – time systems: a tutorial]. Ufimsk. gos. aviaz. techn. universitet. Ufa, 2004, 292 p.
10. Bljekman M. Proektirovanie sistemy real'nogo vremeni [Designing a real – time system]. Moscow, Mir, 2007, 346 p.
11. Tanenbaum, A. Modern Operating Systems. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall. 2008, 160 p.
12. Jang S.D. Algoritmicheskie jazyki real'nogo vremeni: konstruirovanie i razrabotka [Algorithmic real – time languages: design and development]. Moscow, Mir, 2008, 400 p.

13. Rabih Chrabieh. Task – less Approach Simplifies RTOS Architecture. Available at: http://archive.cotsjournalonline.com/articles/view/100030. (accessed November 15, 2018).
14. Birjukov O.V., Novikov A.J., Shishkevich A.A. EtherCAT – interfejs territorial'no raspredelennyh kontrol'no – izmeritel'nyh sistem real'nogo vremeni [EtherCAT is the interface of geographically distributed real – time monitoring and measurement systems]. *Jelektronnye informacionnye sistemy,* no. (4). 2015: 49–59.
15. Burdonov I.B. Operacionnye systemy real'nogo vremeni [Real – time operating systems]. Available at: http://www.ispras.ru/preprints/docs/prep_14_2006.pdf. (accessed November 15, 2018).

Достлєв Ю.С., Череднікова О.Ю. «Рівні моделювання систем реального часу». *Виконано аналіз структурних особливостей побудови систем автоматизації технологічних процесів на базі засобів систем реального часу. Виділено задачі, які вирішуються кожним з елементів структури в загальному контексті вирішення єдиної задачі реального часу – автоматизації управління процесами конкретного об'єкта. Особливу увагу приділено функціям реального часу в середовищі кожного з елементів. Розглянуто особливості інтерфейсів між окремими компонентами структури. Акцентовано увагу на особливостях параметрів, які істотно впливають на точність отримання рішення єдиної завдачі автоматизації даного об'єкта. Виконано аналіз вимог, які пред'являються до елементів структури на різних етапах проектування як всієї системи автоматизації в цілому, так і засобів реалізації кожного з елементів. Зроблено висновок про функції та сукупності вимог до побудови моделей при проектуванні систем реального часу, як основи побудови систем автоматизації технологічних процесів. Запропонована багаторівнева система моделей для підтримки проектування та верифікації засобів систем реального часу на різних етапах проектування систем автоматизації. Запропоновано функціональний зміст моделей кожного з елементів в прив'язці до особливостей рівня модельного середовища. В якості основного критерію оцінки результатів моделювання використовується точність реалізації функцій елементів відповідно до динамічних параметрів об'єкта, засобів інформаційного сполучення та центрального обчислювача, тобто до параметрів реального часу.*

Ключові слова: система реального часу, моделі динамічних об'єктів, критерії реального часу систем, етапи проектування систем автоматизації, рішення задачі реального часу, затримки транспортування та обробки параметрів станів об'єкта.

Dostlev Y.S., Cherednikova O.Y. “Levels of modeling for real – time systems”. *The analysis of structural features for creating of automation systems for technological processes on the basis of instruments of real time systems is performed. The tasks that are solved by each of the structural elements in the general context of solving a single real – time task – automation of the process control of a particular object are identified. Particular attention is paid to real – time functions in the environment of each of the elements. The features of the interfaces between the individual components of the structure are considered. Attention is focused on the features of the parameters, which have a significant impact on the accuracy of obtaining a solution to a single automation task for a given facility. The analysis of the requirements for structural elements at various design stages of both the entire automation system as a whole and the means of implementing each of the elements has been performed. The conclusion is made about the functions and set of requirements for building models in the design of real – time systems, as the basis for building automation systems for technological processes. A multilevel system of models is proposed to support the design and verification of real – time systems at various stages of the design of automation systems. The functional content of the models of each of the elements in relation to the features of the level of the model environment is proposed. As the main criterion for evaluating the simulation results, the accuracy of the implementation of the functions of the elements in accordance with the dynamic parameters of the object, the means of information pairing and the central computer, that is, the real – time parameters, is used.*

Keywords: real – time system, models of dynamic objects, criteria for real – time systems, stages of designing automation systems, solving a real – time problem, delays in transportation and processing of object state parameters.

Статья поступила в редакцию 20.11.2018
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук С.Г. Ехилевским

Ссылка для цитирования статьи

For citation

Достлев Ю.С., Чередникова О.Ю. Уровни моделирования систем реального времени // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(14)–2(15). 2018. – С. 74–80.

Dostlev Y.S., Cherednikova O.Y. Levels of modeling for real – time systems. 2018. *System analysis and information technology in environmental and social sciences*, no.1(14)–2(15): 74–80. (in Russian).

УДК 519.217.2+575.1

Аналитическое решение для неоднородной цепи Маркова в моделировании распространения генетического заболевания

Климко Г.Т.
Донецкий национальный технический университет
gtklimko@mail.ru

Климко Г.Т. «Аналитическое решение для неоднородной цепи Маркова в моделировании распространения генетического заболевания». *Построены и изучены неоднородные цепи Маркова для многокомпонентных систем, в матрицах условных вероятностей которых учтён результат скрещивания каждого генотипа со всеми другими. Применимость их для изучения менделирующих генетических заболеваний доказана разными способами определения предельных вероятностей генотипов в равновесной популяции. Отмечена их зависимость при решении нелинейных уравнений итерационным методом от начального состояния системы. И аналитическим их решением подтверждён закон устойчивости равновесных популяций Харди-Вейнберга. Для них свободный параметр в решении позволяет учитывать особенности каждого равновесного состояния и проверять численные решения с известным начальным отклонением от равновесия. Обсуждаются результаты их сравнения с решением другим способом. В аналитическом решении вероятности переходов для вовлечённых в популяцию генотипов взаимосвязаны. Дан пример, в котором их пять. Эти связи помогают восстанавливать более полную информацию о доле генотипов, распространяющих заболевание, которая часто остаётся скрытой в статистических данных.*

Ключевые слова: цепи Маркова, математическая модель, анализ, генетика, вероятность, закономерность.

Введение

Успехи генетики за последние двадцать лет впечатляют [1]. А открытия новых методов анализа ДНК применяют для прогноза причин болезни, обусловленной генетикой [1, 2]. Вырос интерес и к вероятности таких заболеваний. Из них часть связана с мутацией одного гена. Она наследуется через комбинацию пары аллелей, копий родительских генов. Генотип потомства менделирующий, если наследуется по правилам, открытым Георгом Менделем [2] в 1865 году.

Согласно первому его правилу, «правилу доминирования», из двух копий каждого гена, аллелей, одна может подавлять, маскировать, проявление второй копии. Генотип, у которого аллели одинаковые, называют гомозиготным, а когда они разные – гетерозиготным. Признаки доминантных аллелей проявляют себя даже в гетерозиготном состоянии. Рецессивный аллель может проявить себя только в гомозиготном состоянии. И все болезни делят на доминантные и рецессивные, соответственно.

По второму правилу Менделя, «правилу расщепления» между генотипами потомства, от скрещивания родителей, – расщепление является вероятностным, то есть происходит случайно.

Вследствие третьего правила Менделя, «правила независимого комбинирования», – гены, определяющие разные признаки, два или более, наследуются, независимо друг от друга.

Успех в изучении и борьбе с популяцией генной мутации зависит от оценки её масштаба и прогноза её развития в будущем, но ареал наследуемой болезни сложно установить в силу ряда причин [2, 3], включая и этические.

Согласно закону Харди-Вейнберга [2, 4] частоты генотипов в большой, скрещивающейся свободно, популяции остаются постоянными в чреде поколений, если в ней миграции и отбора нет, а частота мутаций постоянная. Но даже в [4] задача о равновесной популяции решается перебором всех возможных комбинаций генов, минуя применение теории цепей Маркова.

Здесь моделирование и прогнозирование равновесия генетических признаков изучается методом цепей Маркова [5–8]. Применив его, по эволюции многокомпонентной системы при известных матрицах вероятностей условных переходов для каждого «скрещивания» можно численно предсказать доли и гомозиготных, и гетерозиготных состояний в популяции.

Здесь получены аналитические решения для нелинейных уравнений неоднородной цепи Маркова в равновесном состоянии популяции, и найдены частоты её генотипов. В итерационном методе их решения число шагов для перехода к стационарным частотам зависит от информации о начальных долях генотипов и от выбора для него матрицы начального приближения.

Цепи Маркова

Цепь Маркова – это обобщение схемы независимых испытаний Бернулли, в каждом из которых может осуществиться только одно из случайных событий (СС), $A_1^k, A_2^k, ..., A_n^k$, где k – номер испытания. Последовательность из СС с конечным или счётным числом разных исходов образует простую цепь Маркова, если условная вероятность появления в k + 1 – ом испытании любого события A_i^{k+1}, $i = 1, 2, ..., n$, k = 1, 2, …, зависит только от того, какое это было событие. Она не изменится от информации о событиях, которые были ранее. В условной вероятности (УВ), p_{ij}, первым индексом i обозначен итог предшествующего испытания, а индексом j – состояние, в которое осуществится переход в текущем испытании. Список УВ, p_{ij}, служит для описания переходов из одного, любого из n, состояния системы, где она пребывает перед моментом времени перехода, τ, в следующее. Его представляют матрицей, $\mathbf{P}(1) = \boldsymbol{\pi}$, [5 – 8]. В такой цепи правила Г. Менделя выполняются.

Цепь Маркова является однородной, если УВ, p_{ij}, появиться событию A_j^{k+1} в k +1 – ом испытании при появлении события A_i^k в k-ом испытании *не зависит* от номера испытания, k, и её называют неоднородной, если *зависит*.

Предельные состояния

Для простой однородной цепи Маркова главная задача – это определение вероятностей перехода из состояний A_i^k, в k–ом испытании, в состояния A_j^{k+m}, которые могут появиться после проведения следующих m испытаний. Матрица вероятностей для таких переходов однозначно зависит от матрицы УВ испытания, $\boldsymbol{\pi}$, $\pi_{ij} = p_{ij}$:

$$P_{ij}(m) = \left\{\pi^m\right\}_{ij} = \boldsymbol{\pi} \cdot \mathbf{P}(m-1) = \mathbf{P}(m-1) \cdot \boldsymbol{\pi} =$$
$$= \sum_{l=1}^{n} p_{il} \cdot P_{lj}(m-1) = \sum_{l=1}^{n} P_{il}(m-1) \cdot p_{lj}\ , \tag{1}$$

$$\sum_{j=1}^{n} P_{ij}(m) = \sum_{j=1}^{n} p_{ij} = 1\ . \tag{2}$$

Для таких цепей верна теорема Маркова «о предельных вероятностях», смысл которой в следующем. Если при некотором числе, $k > 0$, испытаний, проведенных один за другим, имеем ненулевые значения у всех элементов матрицы УВ, $P_{ij}(k) = \left\{\pi^k\right\}_{ij} > 0$, то существуют числа, p_j, такие что независимо от индекса i, верно:

$$\lim_{m \to \infty} P_{ij}(m) = p_j\ , \tag{3}$$

где $i, j = 1, 2, ..., n$, [5–8].

Это первый, строго доказанный результат для эргодических теорем [6], играющих важную роль в современной физике, когда состояния системы образуют один существенный класс. Вероятность, $p_j > 0$, оказаться ей в состоянии, A_j, согласно (3) не зависит от того состояния, в котором она было в далёком прошлом.

При $m \to \infty$ из формулы (1) следуют системы уравнений для предельных УВ $P_{ij}(\infty)$:

$$\sum_{l=1}^{n} p_{il} P_{lj}(\infty) = P_{ij}(\infty) = p_j\ , \qquad \sum_{l=1}^{n} p_l \cdot p_{lj} = p_j\ . \tag{4}$$

Левая система в (4) даёт тривиальные тождества, следующие из (2) и из теоремы «о предельных вероятностях» (3). Правая система в (4) связывает значения матричных элементов из разных столбцов матрицы $\mathbf{P}(\infty)$, и при учёте значений УВ, $\pi_{ij} = p_{ij}$, даёт решение, $\mathbf{P}(\infty)$, для однородного уравнения, $\mathbf{P}(\infty) \cdot \boldsymbol{\pi} = \mathbf{P}(\infty)$.

Стабильность значений предельных УВ подтверждает закон Харди-Вейнберга [2, 4], по которому в местности с оседлым населением будет устойчивый процентный состав жителей с определённым генетическим заболеванием.

Математическая модель для наследования признака карих глаз

Аллель наследования карих глаз является доминантным, а голубых глаз – рецессивным. Ниже будем обозначать гомозиготный генотип с доминантными аллелями индексом D, генотип с рецессивными аллелями индексом R, а генотип гетерозиготный – H. Рассматривая скрещивание носителя определённого генотипа, D, H или R, с любым, из трёх возможных генотипов, с учётом правил расщепления Георга Менделя получим одношаговые матрицы УВ для каждого из них, в (5)–(7) они записаны слева. Все возможные генотипы появляются только при скрещивании гетерозиготного генотипа с аналогичным, и для них гетерозиготный появляется в два раза чаще равновозможных гомозиготных, 2-я строка в (6). Скрещивание гомозиготных генотипов породит только один генотип с вероятностью 1, первая и третья строки в (5) и (7) слева, скрещивания гомо и гетерозиготных генотипов дадут только два равновозможных генотипа с вероятностями ½ и ½, соответственно, в остальных строках.

Предельные матрицы перехода (в (5) – (7) справа) получим, если уравнения (4) решить для матриц (5) – (7). Точность в одну сто тысячную для них дают 16-ые степени: $\mathrm{P_D}(1), \mathrm{P_H}(1), \mathrm{P_R}(1)$. Они содержат только столбцы, в которых все элементы одинаковые в строках каждого из них.

$$\mathrm{P_D}(1) = \begin{array}{c} \\ \mathrm{D} \\ \mathrm{H} \\ \mathrm{R} \end{array} \begin{array}{c} \mathrm{D\ H\ R} \\ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{array} \Rightarrow \mathrm{P_D}(\infty) = \begin{array}{c} \\ \mathrm{D} \\ \mathrm{H} \\ \mathrm{R} \end{array} \begin{array}{c} \mathrm{D\ H\ R} \\ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array}, \tag{5}$$

$$\mathrm{P_H}(1)=\begin{array}{c} \\ \mathrm{D}\\ \mathrm{H}\\ \mathrm{R}\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{ccc}\mathrm{D}&\mathrm{H}&\mathrm{R}\end{array}\\ \begin{pmatrix}\frac12&\frac12&0\\ \frac14&\frac12&\frac14\\ 0&\frac12&\frac12\end{pmatrix}\end{array}\Rightarrow \mathrm{P_H}(\infty)=\begin{array}{c} \\ \mathrm{D}\\ \mathrm{H}\\ \mathrm{R}\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{ccc}\mathrm{D}&\mathrm{H}&\mathrm{R}\end{array}\\ \begin{pmatrix}\frac14&\frac12&\frac14\\ \frac14&\frac12&\frac14\\ \frac14&\frac12&\frac14\end{pmatrix}\end{array}, \quad (6)$$

$$\mathrm{P_R}(1)=\begin{array}{c} \\ \mathrm{D}\\ \mathrm{H}\\ \mathrm{R}\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{ccc}\mathrm{D}&\mathrm{H}&\mathrm{R}\end{array}\\ \begin{pmatrix}0&1&0\\ 0&\frac12&\frac12\\ 0&0&1\end{pmatrix}\end{array}\Rightarrow \mathrm{P_R}(\infty)=\begin{array}{c} \\ \mathrm{D}\\ \mathrm{H}\\ \mathrm{R}\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{ccc}\mathrm{D}&\mathrm{H}&\mathrm{R}\end{array}\\ \begin{pmatrix}0&0&1\\ 0&0&1\\ 0&0&1\end{pmatrix}\end{array}. \quad (7)$$

При применениях не стационарной цепи Маркова будем учитывать доли для носителей каждого признака, $\vec{\mathrm{p}}(\pi)=\left(p(\mathrm{D}),p(\mathrm{H}),p(\mathrm{R})\right)$, $p(\mathrm{D})+p(\mathrm{H})+p(\mathrm{R})=1$, усредняя УВ в $\hat{\pi}(1)$ из уравнения само согласования аналогично (4):

$$\begin{cases}\hat{\pi}(1)=p(\mathrm{D})\cdot\mathrm{P_D}(1)+p(\mathrm{H})\cdot\mathrm{P_H}(1)+\\ \quad +p(\mathrm{R})\cdot\mathrm{P_R}(1);\\ \vec{\mathrm{p}}'(1)=\vec{\mathrm{p}}(1)\cdot\hat{\pi}(1)=\\ \quad =\left(p'(\mathrm{D}),p'(\mathrm{H}),p'(\mathrm{R})\right).\end{cases} \quad (8)$$

Если по второму уравнению в (8) для заданного начального вектора, $\vec{\mathrm{p}}(1)=(x_0,y_0,z_0)$, форма предельных вероятностей цепи Маркова, вычислим вектор, $\vec{\mathrm{p}}'(1)$, применим затем его в правой части уравнения (8) и вычислим новый вектор, $\vec{\mathrm{p}}'(1)$, то запустим итерационный метод его решения. Процесс закончит «неподвижная точка». С ней совпадут новый и предыдущий вектора. Например, вектор, $\vec{\mathrm{p}}(1)=\left(p^2,2pq,q^2\right)$, который по (11) отвечает «предельной точке», уже после первой итерации даёт вектор, $\vec{\mathrm{p}}'(1)$, равный и самосогласованному решению (11), и предельному значению $\hat{\pi}(\infty)$. Эту его форму в [4] предложили, полагая, что и доминантные, и рецессивные аллели случайно объединяются в гомозиготные и гетерозиготные состояния при известной пропорции аллелей, $p:q$ и $p+q=1$. Перебор независимых событий, генотипов от случайных спариваний, и суммирование для них вероятностей, естественно, это форму уже не нарушат. Цепь Маркова с аналогичными долями генотипов даёт те же предельные вероятности.

Здесь, теореме Маркова результат не зависит от начальной матрицы УВ, $\vec{\mathrm{p}}(1)$. То есть итерационный процесс сходится к точным предельным вероятностям с разными $\hat{\pi}(1)$. Более того, в задачах этого раздела есть начальные, не равновесные, вектора, которые дают точный результат всего за один шаг. Так, если $\vec{\mathrm{p}}(1)=(x_0,y_0,z_0)=\left(p(\mathrm{D}),p(\mathrm{H}),p(\mathrm{R})\right)$, что естественно, – доли $\hat{\pi}(1)$ и начального вектора совпадают, то в применённом для этих задач методе цепей Маркова равновесное состояние достигается за одну итерацию (табл. 1).

Таблица 1. – Равновесные состояния, полученные в методе цепей Маркова за одну итерацию

№ п.п.	$\vec{\mathrm{p}}(1)=(x,y,z)$	$\vec{\mathrm{p}}'(1)=\hat{\pi}(\infty)$
1	(0.2, 0.7, 0.1)	(0.3025, 0.495, 0.2025)
2	(0.6, 0.1, 0.3)	(0.4225, 0.455, 0.1225)
3	(0.5, 0.4, 0.1)	(0.49, 0.42, 0.09)
4	(0.3, 0.1, 0.6)	(0.1225, 0.455, 0.4225)
5	(0.1, 0.3, 0.6)	(0.0625, 0.375, 0.5625)
6	(0.3, 0.6, 0.1)	(0.36, 0.48, 0.16)
7	(0.6, 0.3, 0.1)	(0.5625, 0.375, 0.0625)
8	(0.1, 0.6, 0.3)	(0.16, 0.48, 0.36)

Из таблицы 1 следует, что равновесные доли зависят от исходных долей генотипов, но величина отклонения их начальной пропорции от самосогласованных не влияет на сходимость за одну итерацию. Например, в третьей, пятой и седьмой строках оно незначительное, в то же время, в других её строках оно существенное. Если начальные доли гомозиготных состояний переставить, оставив прежней её величину для гетерозиготного, то аналогично изменятся доли и их равновесных состояний (см. строки 2 и 4, 5 и 7, 6 и 8, в табл. 1). Степени же матриц УВ, $\hat{\pi}(1)$, заданных для долей по первой строке (8), сходятся к $\hat{\pi}(m)=\left(\hat{\pi}(1)\right)^m \to \hat{\pi}(\infty)$ при m $\simeq$ 23. Их равновесные веса и общее решение (11) для системы (10), естественно, совпадают.

Начальные доли генотипов могут стать не равновесными в следствие мутаций, миграции или отбора. Согласно [2, 4] они дают сдвиги весов. За каждым таким сдвигом случайные спаривания ведут к новому равновесию, и его новые веса зависят от величин полученных сдвигов. Выживаемость генотипов в динамике изучалась, например, в работе [9].

Решим второе векторное уравнение в (8), записанное с «неподвижным вектором» и в его левой, и в его правой частях, аналитически, как систему *нелинейных* уравнений. В полученном так общем решении будут присутствовать все самосогласованные решения системы (8).

Для нашей задачи с тремя компонентами вектора, (x,y,z), задающих в (8) «веса», доли, носителей генов доминантного, гибридного или рецессивного признака, матричное уравнение:

$$(x,y,z)\cdot\left\{x\mathrm{P_D}(1)+y\mathrm{P_H}(1)+z\mathrm{P_R}(1)\right\}=(x,y,z) \quad (9)$$

сводится после матричных умножений и приведения подобных к решению системы однородных нелинейных уравнений:

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

$$\begin{cases} \left(x+y/2\right)^2 = x\left(=p^2\right); \\ 2\left(x+y/2\right)\cdot\left(z+y/2\right) = y\left(=2pq\right); \\ \left(z+y/2\right)^2 = z\left(=q^2\right). \end{cases} \quad (10)$$

После сложения её уравнений получаем:

$$\begin{cases} \left(x+y+z\right)^2 = \left(x+y+z\right), \\ x+y+z = \left(p+q\right)^2, \end{cases} \Rightarrow x+y+z = \left[\begin{matrix} 0. \\ 1. \end{matrix}\right.,$$

что согласуется с $x+y+z=1$ в цепи Маркова. Из 1-го и 3-его уравнений в (10) имеем решение:

$$\begin{matrix} x_{1,2} = \dfrac{1-y\pm\sqrt{1-2y}}{2}; & 0\le y\le\dfrac{1}{2}; \\ z_{1,2} = \dfrac{1-y\mp\sqrt{1-2y}}{2}; & y = 2\cdot\sqrt{x\cdot z}. \end{matrix} \quad (11)$$

Второе уравнение (10) и нормировка долей, при согласовании знаков для x и z (11), выполняются тождественно. Свободный параметр, y, – доля гибридов, x симметрично с z, с верхним знаком в (11) вероятнее доминантный признак.

К прогнозированию дальтонизма и гемофилии

Такие заболевания, как дальтонизм или гемофилия (A и B) являются X сцепленными, и связаны с мутацией X хромосомы [10− 12]. Её наличие обозначаем штрихом вверху справа, X′. Болеют ими и женщины с двумя дефектными хромосомами, и мужчины – с одной. Не болеют женщины с одной здоровой хромосомой, но они являются носителями заболевания.

Все возможные генотипы партнёров, XX, XX', X'X', XY, X'Y, нумеруют строки и столбцы пяти матриц УВ появления нового генотипа (12) от случайного скрещивания каждого из них с генотипом противоположного пола. Значения УВ согласуются с правилами Г. Менделя.

Блочная структура матриц (12) указывает на наличие двух классов состояний. Первые три из них и остальные две в отдельности не дадут цепь Маркова, их степени сходятся к нулевой матрице. Только среднее их значение с весами женских и мужских генотипов могут её создать.

$$P_{XX}(1) = \begin{array}{c} \\ XX \\ XX' \\ X'X' \\ XY \\ X'Y \end{array} \begin{array}{c} \begin{matrix} XX & XX' & X'X' & XY & X'Y \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0.5 & 0 \end{pmatrix} \end{array}, \quad (12)$$

$$P_{XX'}(1) = \begin{array}{c} \\ XX \\ XX' \\ X'X' \\ XY \\ X'Y \end{array} \begin{array}{c} \begin{matrix} XX & XX' & X'X' & XY & X'Y \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.25 & 0 & 0.25 & 0{,}25 \\ 0 & 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 \end{pmatrix} \end{array},$$

$$P_{X'X'}(1) = \begin{array}{c} \\ XX \\ XX' \\ X'X' \\ XY \\ X'Y \end{array} \begin{array}{c} \begin{matrix} XX & XX' & X'X' & XY & X'Y \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0.5 \end{pmatrix} \end{array}, \quad (12)$$

$$P_{XY}(1) = \begin{array}{c} \\ XX \\ XX' \\ X'X' \\ XY \\ X'Y \end{array} \begin{array}{c} \begin{matrix} XX & XX' & X'X' & XY & X'Y \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0.25 & 0.25 & 0 & 0.25 & 0.25 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array},$$

$$P_{X'Y}(1) = \begin{array}{c} \\ XX \\ XX' \\ X'X' \\ XY \\ X'Y \end{array} \begin{array}{c} \begin{matrix} XX & XX' & X'X' & XY & X'Y \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} 0 & 0.5 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array}.$$

Как и в (8), «веса» носителей заболевания применяем, для усреднения УВ (12) в $\hat{\pi}(1) =$.
$= \left\{xP_{XX}(1) + yP_{XX'}(1) + zP_{X'X'}(1) + sP_{XY}(1) + tP_{X'Y}(1)\right\}$.
Систему уравнений для самосогласованных УВ и «весов» усреднения получим, применив во втором уравнении (8), как в (9), матрицы УВ с одинаковыми элементами в строках каждого их столбца для состояний начального и конечного, $\vec{p}(1) = \vec{p}'(1) = (x, y, z, s, t)$, как для равновесного состояния популяции. Для предельных УВ в этом случае получаем матричное уравнение:

$$(x,y,z,s,t) = (x,y,z,s,t)\times\left\{xP_{XX}(1) + \right.$$
$$\left. + yP_{XX'}(1) + zP_{X'X'}(1) + sP_{XY}(1) + tP_{X'Y}(1)\right\}. \quad (13)$$

Система (13) распадается на два класса событий. Каждый из них представлен линейной системой уравнений соответственно для генов мужского и женского пола с коэффициентами в ней из весов генов противоположного пола:

$$\begin{cases} s\left(x+\frac{1}{2}y\right) = x; \\ t\left(x+\frac{1}{2}y\right) + s\left(z+\frac{1}{2}y\right) = y; \\ t\left(z+\frac{1}{2}y\right) = z; \end{cases} \quad (14)$$
$$\begin{cases} (s+t)\left(x+\frac{1}{2}y\right) = s; \\ (s+t)\left(z+\frac{1}{2}y\right) = t; \end{cases}$$

Суммируя в (14) первые три и отдельно последние два уравнения, получаем равенства:

$$\begin{cases} (s+t)(x+y+z) = (x+y+z); \Rightarrow (s+t) = 1, \\ (s+t)(x+y+z) = (s+t); \Rightarrow (x+y+z) = 1. \end{cases} \quad (15)$$

Из них следует раздельная нормировка долей носителей заболевания среди хромосом женских и мужских в матрице $\boldsymbol{\pi}$ из УВ переходов. Но это не запрещает быть разной пропорции полов.

Климко Г.Т.
Донецкий национальный технический университет

Действительно, тождество, $(\alpha x, \alpha y, \alpha z, \beta s, \beta t) \times \times \{x\mathrm{P}_{XX}(1) + y\mathrm{P}_{XX'}(1) + z\mathrm{P}_{X'X'}(1) + s\mathrm{P}_{XY}(1) + t\mathrm{P}_{X'Y}(1)\} = = (\alpha x, \alpha y, \alpha z, \beta s, \beta t)$, где $\alpha + \beta = 1$, уравнениям (13) и (14) не противоречит. В них матрицей из усреднённых УВ, $\hat{\pi}(1)$, должны и учитываются только пропорции генотипов с наследованием возможно дальтонизма или гемофилии, у особей каждого пола отдельно. Наследуется аллельная пара, аллель особи мужской и аллель – женской. В усреднённых УВ, $\hat{\pi}(1)$, суммарно равными должны быть их пропорции для разного пола.

Линеаризация уравнений, $\left(x + \frac{1}{2}y\right) = s$ и $\left(z + \frac{1}{2}y\right) = t$, следует из (15) и (14). Они дают явную связь x, z, s и t с y:

$$x = s^2;\ \ z = t^2;\ \ 2st = 2s(1-s) = 2t(1-t) = y. \quad (16)$$

Так решение системы (14) свелось к решению уравнений (16). “Веса” в них определены одним “свободным” параметром, y, – долей здоровых носителей болезни, XX' генотипа:

$$\begin{cases} s_{1,2} = \dfrac{1 \pm \sqrt{1-2y}}{2}, \\ t_{1,2} = \dfrac{1 \mp \sqrt{1-2y}}{2}, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} s + t = 1, \\ 2st = y, \end{cases}$$
$$\begin{cases} x_{1,2} = s_{1,2}^2 = \dfrac{1 - y \pm \sqrt{1-2y}}{2}, \\ z_{1,2} = t_{1,2}^2 = \dfrac{1 - y \mp \sqrt{1-2y}}{2}, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x + y + z = 1, \\ 0 \le y \le \dfrac{1}{2}. \end{cases} \quad (17)$$

С каждым значением параметра y имеем два аналитических решения. Для (x, y, z) они изоморфны решению для модели наследования признака карих глаз (11). С верхним знаком в популяции меньше больных, чем здоровых.

Не все выводы, которые выше отмечены для генотипов признака карих глаз, верны для задач этого раздела.

Так, с усредненной матрицей УВ (18):

$$\boldsymbol{\pi}(1) = \begin{array}{c} \\ XX \\ XX' \\ X'X' \\ XY \\ X'Y \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} XX & XX' & X'X' & XY & X'Y \end{array} \\ \begin{pmatrix} 0.25 & 0.25 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0.125 & 0.25 & 0.125 & 0.25 & 0.25 \\ 0 & 0.25 & 0.25 & 0 & 0.5 \\ 0.25 & 0.25 & 0 & 0.25 & 0.25 \\ 0 & 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 \end{pmatrix} \end{array}. \quad (18)$$

полученной при значениях весов $(x, y, z, s, t) = = (0.3\ \ 0.4\ \ 0.3\ \ 0.5\ \ 0.5)$, и начальном векторе, $\vec{\mathrm{p}}(1) = \big(p(XX)\,p(XX')\,p(X'X')\,p(XY)\,p(X'Y)\big) = = (0.3\ \ 0.4\ \ 0.3\ \ 0.5\ \ 0.5)$, применение итераций для решения аналогичной (8) системы:

$$\vec{p}'(1) = \vec{p}(1)\{xP_{XX}(1) + yP_{XX'}(1) + zP_{X'X'}(1) + + sP_{XY}(1) + tP_{X'Y}(1)\} \quad (19)$$

даёт равновесное решение уже на первом шаге с «неподвижным» новым вектором «весов», $\vec{\mathrm{p}}$ = (0,25 0,5 0,25 0,5 0,5), как у точного решения. Но это особый случай, когда при $s = t = 0.5$ из (17) следует, что $y = 0.5$ и $x = z = 0.25$. В общем случае здесь быстрой и точной сходимости нет.

Заметим, что сумма элементов в каждой строке матрицы $\boldsymbol{\pi}(1)$ равна единице при сумме всех «весов» в $\vec{\mathrm{p}}(1)$ и в $\vec{\mathrm{p}}'(1)$, равной 2. Это связано, как отмечено выше, с наличием двух классов состояний. С x, y и z усредняются первые три строки матриц УВ переходов, а с s и t – остальные строки матриц (12).

По теореме Маркова степени матрицы $\boldsymbol{\pi}^m$ сходятся и при $m \ge 20$ дают уже «хорошее» приближение к УВ $(\boldsymbol{\pi}(1))^m \equiv \boldsymbol{\pi}(\infty)$ с равными элементами в строках их столбцов. Но равны они половинам значений «весов», x, y, z, s, t. Как и в (18), их сумма равна единице, и всегда верно, что $\vec{\mathrm{p}}'(1) = 2 \cdot (\boldsymbol{\pi}(1))^\infty$.

Вследствие жёсткой связи между весами точного решения, в (17) всего один свободный параметр, и для итерационного метода решения, и для степени усреднённой матрицы УВ условия (16) выполняются приближённо, – отклонения до 10 %, если в начальном приближении они не учтены. Такие расчёты приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Равновесные и предельные доли, полученные в методе простых цепей Маркова для X сцепленных фенотипов за 21 итерацию

№п.п.	$\vec{\mathrm{p}}(1) = (x, y, z, s, t)$	$\vec{\mathrm{p}}'(1) = 2 \cdot \vec{\pi}(\infty)$
1	(0.7, 0.2, 0.1, 0.9, 0.1)	(0.706, 0.268, 0.026, 0.82, 0.18)
2	(0.1, 0.2, 0.7, 0.1, 0.9)	(0.026, 0.268, 0.706, 0.19, 0.82)
3	(0.55, 0.4, 0.05, 0.78, 0.22)	(0.58068, 0.36264, 0.05668, 0.756, 0.244)

Отклонение этих решений от условий (16) указывает на неприменимость простой итерации для неоднородной цепи Маркова. Но они здесь применимы. У статистических данных по гемофилии точность не выше 30% [3, 12].

Тождества (16) можно записать и в виде:

$$x = (1-t)^2;\ \ z = t^2;\ \ 2t(1-t) = y;\ \ s = 1 - t, \quad (20)$$

позволяющем восстановить доли всех генотипов по данным только для одного, X′Y, из них.

Если доли в $\vec{\mathrm{p}}(1)$ из таблицы 2 оценим по (20), считая долю X′Y основным показателем, то на месте строк 1–3 таблицы 2 сразу получим равновесные решения с зафиксированными t (табл. 3).

Таблица 3. – Равновесные и предельные доли неоднородной цепи Маркова

№ п.п.	$\vec{\mathrm{p}}(1)=(x, y, z, s, t) = \vec{\mathrm{p}}'(1) = 2\cdot\vec{\pi}(1)$
1	(0.81, 0.18, 0.01, 0.90, 0.10)
2	(0.01, 0.18, 0.81, 0.10, 0.90)
3	(0.6084, 0.3432, 0.0484, 0.78, 0.22)

Из данных доклада ВОЗ [12], остающихся практически неизменными в пределах точности реальных оценок [3], имеем от одного до двух больных гемофилией на 20000 «новорождённых мужского пола». Учёт связи (20) дал оценку для $\vec{p}(1) \simeq (0.9998, 1.9999\cdot10^{-4}, 10^{-8}, 0.9999, 0.0001=t)$, и решение с ним системы (20) методом простой итерации уточняет «веса» $\vec{\mathrm{p}}(1)$ не более, чем на 0.006 %.

Выводы

Построена математическая модель учёта исходных долей генотипов при наследовании генетических заболеваний для прогноза их доли в равновесной популяции с менделирующими генотипами. В ней применены неоднородные цепи Маркова. Но для генотипов наследования признака карих глаз фиксация усреднённой матрицы УВ и в методе простой итерации, и в теореме Маркова «о предельных вероятностях перехода» дают конечные состояния, равные их точному решению, зависящему от начальных весов усреднения. И при этом всегда возможен переход от начальных весов усреднения к их конечным значениям, в равновесное состояние популяции, за одну итерацию. Подтверждено это в численных экспериментах.

Аналитическое решение (11) или (17) для неоднородной цепи Маркова (9) или (13) не единственное. Не видно препятствий, которые бы запрещали получать аналитическое решение и для других генетических отклонений, и затем оценивать вероятности перехода к равновесной популяции. Наличие в решениях (11) и (17) одного эмпирического параметра, чьё значение связано со статистикой заболевания, позволяет говорить об их универсальности. Применять их можно для восстановления полной информации о носителях заболевания по статистическим данным лишь одного признака.

Факт наличия двух классов состояний в неоднородной цепи Маркова поиск её общего решения не усложнил, но не применимой для поиска вероятностей перехода в равновесные конечные состояния стала фиксация матрицы усреднённых УВ скрещиваний с начальными весами в методе простой итерации. Сходимость к верному решению требует их обновления на каждом шаге. Открытым тогда остаётся вопрос: «Почему для наследования признака карих глаз возможна фиксация усреднённой матрицы УВ и сходимость простой итерации за один шаг?»

За обращение внимания автора на задачи генетики он благодарен Ганенко А.И.

Список литературы

1. Уотсон Д.Д., Берри Э., Дэвис К. ДНК. История генетической революции. Санкт-Петербург: Питер, 2019, Сер. «New Science», 2019, – 562 с. URL: https://flibusta.site/b/543472/read (27.11.18).
2. Гинтер Е.К. Медицинская генетика. – М.: Медицина, 2003, – 448 с.
3. Давыдова И.И. Современные методы диагностики гемофилии и анализ распространённости данного заболевания в Республике Северной Осетии–Алания // Молодой учёный, 2017, №26. – С. 50–52.
4. Карлин С. Основы теории случайных процессов. – М.: Мир, 1971, – 537 с.
5. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и её приложения, т. 1. – М.: Мир, 1964. – 499 с.
6. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 400 с.
7. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным биологическим и экологическим задачам. – М.: Наука, 1986. – 498 с.
8. Розанов Ю.А. Теория вероятностей, случайные процессы и математическая статистика. 2-е изд. – М.: Наука, 1989. – 320 с.
9. Жданова О.Л. Математическое моделирование естественной эволюции структурированных биологических популяций и эволюционных последствий промысла. Диссертация … д-ра физ.-мат. наук, Владивоток, 2014. – 231 с.
10. Квасова М.Д. Зрение и наследственность. – Москва-Санкт-Петербург: Диля, 2002, – 160 с.
11. Мутовин Г.Р. Клиническая генетика. Геномика и протеомика наследственной патологии. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 832 с.
12. Наследственные нарушения свёртывания крови. Доклад Научной группы ВОЗ. Женева. – М.: Медицина, 1975. – 60 с.

References (transliteration)

1. Uotson D.D., Berri E., Devis K. DNK. Istoriya geneticheskoy revolyutsii. Saint-Petersburg, Piter, 2019, Ser. “New Science”, 2019, 562 p. Available at: https:// flibusta.site/b/543472/read (accessed November 27, 2018).
2. Ginter E.K. Meditsinskaya genetika [Medical genetics]. Moscow, Meditsina, 2003, 448 p. (in Russian).
3. Davyidova I.I. Sovremennyie metodyi diagnostiki gemofilii i analiz rasprostran Yonnosti dannogo zabolevaniya v Respublike Severnoy Osetii–Alaniya [Modern methods of hemophilia diagnosis and analysis of the prevalence of this disease in the Republic of North Ossetia-Alania]. *Molodoy uchjonyj*, 2017, no 26: 50–52. (in Russian).
4. Karlin S. Osnovyi teorii sluchaynyih protsessov [Fundamentals of the theory of random processes]. Moscow, Mir, 1971, 537 p.
5. Feller V. Vvedenie v teoriyu veroyatnostey i ejo prilozheniya [Introduction to probability theory and its applications], Vol 1. Moscow, Mir, 1964, 499 p. (in Russian).

6. Gnedenko B.V. Kurs teorii veroyatnostey [Probability theory course]. Moscow, Nauka, 1969, 400 p. (in Russian).
7. Roberts F.S. Diskretnyie matematicheskie modeli s prilozheniyami k sotsialnyim biologicheskim i ekologicheskim zadacham [Discrete mathematical models with applications to social biological and environmental problems]. Moscow, Nauka, 1986, 498 p. (in Russian).
8. Rozanov Y.A. Teoriya veroyatnostey, sluchaynyie protsessyi i matematicheskaya statistika: Uchebnik dlya vuzov [Probability theory, random processes, and mathematical statistics]. Issue 2, dop. Moscow, Nauka, 1989, 320 p. (in Russian).
9. Zhdanova O.L. Matematicheskoe modelirovanie estestvennoy evolyutsii strukturirovannyih biologicheskih populyatsiy i evolyutsionnyih posledstviy promyisla [Mathematical modeling of the natural evolution of structured biological populations and the evolutionary consequences of fishing]. Dissertatsiya d-ra fiz.-mat. nauk. Vladivotok, 2014, 231 p. (in Russian).
10. Kvasova M.D. Zrenie i nasledstvennost [Vision and heredity]. Moskva-Sankt-Peterburg, Dilya, 2002, 160 p. (in Russian).
11. Mutovin G.R. Klinicheskaya genetika. Genomika i proteomika nasledstvennoy patologii [Clinical genetics. Genomics and proteomics of hereditary pathology]. Moscow, GEOTAR-Media, 2010, 832 p. (in Russian).
12. Nasledstvennyie narusheniya svyortyivaniya krovi [Hereditary blood clotting disorders]. Doklad Nauchnoy gruppyi VOZ. Zheneva. Moscow, Meditsina, 1975, 60 p. (in Russian).

Климко Г.Т. «Аналітичні рішення для неоднорідного ланцюга Маркова в моделюванні поширення генетичного захворювання». *Побудовано та вивчено ланцюги Маркова для прикладів багато компонентних систем. Можливі результати схрещування певного генотипу враховано у відповідній матриці умовних вірогідностей. Відмічено наявність відмінних методів визначення вірогідностей пограничних станів неоднорідних ланцюгів Маркова. Їх застосовано у вивченні менделюючих генетичних захворювань. Рішеннями методом ітерацій системи нелінійних рівнянь для пограничних умовних вірогідностей виявлена їхня залежність від первинного стану. Отримані для них аналітичні рішення збігаються з чисельними й підтверджують закон стійкості рівноважних популяцій Харді-Вейнберга. Обговорюється порівняння їх з приватним рішенням іншим засобом. Кожне аналітичне рішення визначає зв'язок пограничних умовних вірогідностей для залучених у процес генотипів, наведено приклад, у якому їх п'ять. Ці зв'язки допомагають відновлювати більш повну інформацію про долі генотипів, що поширюють захворювання, які часто залишаються прихованими.*

Ключові слова: ланцюги Маркова, математична модель, аналіз, генетика, вірогідність, закономірність.

Klimko G.T. "Analytical solutions for the non-homogeneous Markov chain in modeling the spread of a genetic disease". *Markov chains have built and vas studied for examples of many component systems. The possible results of crossing a particular genotype vas taken into account in the corresponding conditional probability matrix. The presence of various methods for determining the limit states of the boundary states of inhomogeneous Markov chains is noted. They have used in the study of Mendelating genetic diseases. The solutions of the method of iterations of the system of nonlinear equations for limit probabilities revealed their dependence on the initial state. The analytical solutions obtained for them coincide with the numerical ones and confirm the law of stability of equilibrium Hardy - Weinberg populations. Comparison of them with a private solution by another means discussed. Each analytical solution determines the boundary of boundary conditional probabilities for those involved in the genotype process, giving an example in which there are five. The free parameter in the solutions allows take into account the peculiarities of the studied population. These connections help to restore more complete information about probabilities of genotypes, distributing a certain disease, that often remains hidden in statistical data.*

Keywords: Markov chains, mathematical model, analysis, genetics, probability, regularity.

Статья поступила в редакцию 03.12.2018
Рекомендована к публикации канд. техн. наук В.Н. Беловодским

Ссылка для цитирования статьи

For citation

Климко Г.Т. Аналитическое решение для неоднородной цепи Маркова в моделировании распространения генетического заболевания // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(14)–2(15). 2018. – С. 81–87.

Klimko G.T. 2018. Analytical solutions for the non-homogeneous Markov chain in modeling the spread of a genetic disease. *System analysis and information technology in environmental and social sciences,* no.1(14)–2(15): 81–87. (in Russian).

 ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

УДК 004.942

Моделирование и визуализация техногенного загрязнения окружающей среды при ремонте автодорог

Ерошенко Я.Б.
Белгородский государственный национальный исследовательский университет
eroshenko@bsu.edu.ru

Ерошенко Я.Б. «Моделирование и визуализация техногенного загрязнения окружающей среды при ремонте автодорог». *В статье представлен анализ результатов исследований в сфере управления строительством и реконструкцией автомобильных дорог. Описаны проблемы и перспективы поддержки принятия решений при проведении дорожно-строительных работ, которые являлись бы рациональными с экономической и экологической точки зрения. Указаны некоторые особенности управления дорожным строительством, направленные на решение задачи охраны окружающей среды. Данная работа связана с разработкой модели и алгоритма, а также с их программной реализацией и направлена на обеспечение возможности визуализированной оценки и прогнозирования состояния атмосферного воздуха при комплексном воздействии на атмосферу в процессе выполнения дорожно-строительных работ вблизи жилых зон. Разработанная концептуальная модель подсистемы поддержки принятия решений по управлению дорожным строительством представлена в теоретико-множественном виде. Модель отображает основные компоненты системы и их взаимодействие между собой, а также внешней средой. Основная особенность предложенного алгоритма комплексной оценки экологической ситуации заключается в том, что он позволяет оценить техногенное воздействие при строительстве и реконструкции автомобильных дорог как от строительной техники и материалов, транспортных потоков, так и автомобилей, курсирующих на рассматриваемой территории. Для реализации предложенного алгоритма разработана программа, позволяющая провести расчет максимальной приземной разовой концентрации загрязняющих веществ и построить трехмерную сетку их рассеивания. Результаты работы могут быть использованы при построении ситуационных моделей для управления строительством и реконструкцией автомобильных дорог.*

Ключевые слова: 3D моделирование, поддержка принятия решений, ГИС-технологии, дорожное строительство, загрязняющие вещества.

Введение

Развитие любого государства связано с развитием дорожной сети. По дорогам регионального значения осуществляется основной поток пассажиро- и грузоперевозок. В Российской Федерации разработаны проекты по поддержанию и улучшению состояния качества автомобильных дорог. Одним из таких примеров является проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги», цель которого – привести к 2024 году состояние автомобильных дорог регионального значения, в том числе и дорог городских агломераций, в соответствие с требованиями нормативных документов.

В то же время следует учитывать, что при реконструкции и строительстве дорог происходит существенный выброс вредных веществ от передвижных источников, оказывающих негативное воздействие на человека. При длительном воздействии таких веществ у людей могут появляться различные симптомы заболеваний (отравлений): расстройства нервной системы, раздражение слизистых оболочек, бронхиальная астма, хронический бронхит, нарушение дыхательных функций и т.д. [1].

В настоящее время ремонт региональных и муниципальных дорог, общая протяженность которых составляет порядка 500 тыс. км., осуществляется вблизи жилых и рекреационных зон. Во время строительства и реконструкции дорог происходит загрязнение атмосферного воздуха не только от транспортных потоков и дорожно-строительных машин, но и от автомобилей, паркующихся и курсирующих внутри жилой зоны [2].

Для соблюдения требований по охране окружающей среды при эксплуатации автодорог руководствуются соответствующими нормативно-методическими документами: СНиП 12-01 2004 «Организация строительства»; СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги»; СНиП 2.07.01-89* «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений»; ОДМ 218.3.031-2013 «Методические рекомендации по охране окружающей среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог»; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» и др. Для расчета мощности выброса от работающей строительной техники и транспортных потоков используют специальные методики [3].

Однако, следует отметить, что выводы, сформированные только с использованием существующих методик, нельзя рассматривать как объективные и научно обоснованные, так как они не учитывают эффект суммации при воздействии загрязняющих веществ, одновременно поступающих от дорожно-строительных машин, строительных материалов, транспортных потоков и курсирующих внутри жилой территории автомобилей. В свою очередь, загрязняющие вещества, попадающие в атмосферу, обладают различной степенью накопления и рассеяния. При этом на уровень загрязнения окружающей среды существенное влияние оказывают погодно-климатические факторы [4].

Для моделирования и визуализации соответствующего техногенного загрязнения необходимо использовать системный подход, позволяющий провести исследования как в целом, так и для различных источников загрязнения в отдельности [5].

В сфере разработки информационно-аналитического и программного обеспечения оценки уровня загрязнения и комплексного воздействия строительства и транспорта на окружающую среду урбанизированных территорий следует отметить работы Ивацук О.А., Константинова И.С., Кузичкина О.Р., Панарина В.М., Соснина О.М., Черняховского Э.Р. и других. Указанными учеными предложены подходы к построению и функционированию интеллектуальных информационных систем, позволяющих проводить оценку и системное прогнозирование экологической безопасности урбанизированных территорий, формировать альтернативные сценарии управления и оценивать их результативность [6–11]. Научные исследования Ильичева В.А., Гордона В.А., Колчунова В.И. и других ученых связаны с моделированием изменения состояний территорий, оценкой планировочных решений строительства и реконструкции в системе городской застройки на основе теории биосферной совместимости [12–14]. Однако на сегодняшний день не предложены методические подходы для решения проблемы комплексной оценки техногенной нагрузки на окружающую среду от машин, движущихся по автодорогам и используемых при осуществлении дорожно-строительных и ремонтных работ.

Постановка задачи

Целью работы является создание концептуальной модели системы поддержки принятия решений по управлению дорожным строительством, обеспечивающей комплексную оценку и прогнозирование загрязнения атмосферного воздуха в зоне строительства дорог и прилегающих территорий.

Концептуальную модель системы поддержки принятия решений по управлению дорожным строительством можно представить в следующем теоретико-множественном виде:

$$TM = \langle SS, G, X, Y, B, K \rangle,$$

где SS – множество компонентов подсистемы; G – множество параметров взаимодействия SS, $G=\{G1, G2, G3\}$; X – множество входов (параметры состояния объекта управления), $X=\{TT, TG, TX, ZV, R\}$; Y – множество выходов (результат работы подсистемы формирования возможных сценариев управления); B – множество внешних воздействий, $B=\{M,C\}$; K – отображение, $K: (X, M, Y, C) \rightarrow Y$.

TT – множество единиц дорожно-строительных машин, участвующих в строительстве и ремонтных работах;

TG – множество параметров потока транспорта;

TX – множество параметров машин, паркующихся на прилегающей территории;

ZV – множество загрязняющих веществ;

R – коэффициенты, зависящие от выбранного региона;

G1 – состояния подсистемы текущей и прогнозной оценки;

G2 – состояние подсистемы визуализированной оценки рассеивания;

G3 – модели, карты, программы;

M – параметры влияния внешней среды;

C – параметры обратной связи.

В этой модели учитывается комплексное воздействие на атмосферу дорожно-строительных машин, транспортных потоков на прилегающих дорогах, а также паркующихся автомобилей.

На рисунке 1 представлен алгоритм визуализированной комплексной оценки и прогнозирования экологической ситуации при ремонте автодорог. Расчеты выбросов от транспортных потоков и дорожно-строительных машин производятся по утвержденным методикам оценки выбросов загрязняющих веществ, а рассеивание определяется с использованием уравнения турбулентной диффузии [15]. Программная реализация предложенных модели и алгоритма позволила провести расчет максимальной приземной разовой концентрации загрязнителей и построить трехмерную сетку их рассеивания.

На рисунке 2 представлена экранная форма реализации расчетного модуля программы. Расчеты проведены для каждой дорожно-строительной машины и транспортных потоков. Также определена масса выбросов каждого из исследуемых ингредиентов от всех наблюдаемых источников загрязнения и найдена концентрация поллютантов в воздухе прилегающих территорий. Полученные данные использованы для построения гистограмм загрязнителей, поступающих от различных видов источников (рис. 3).

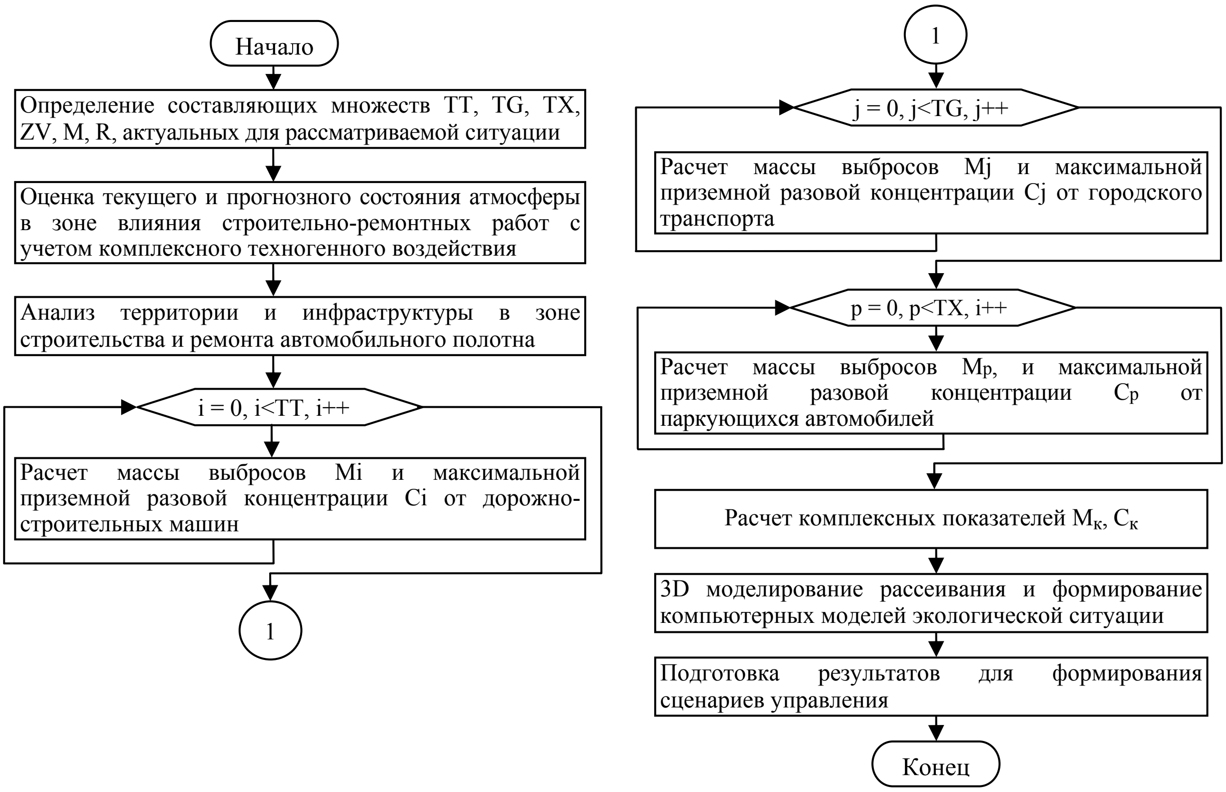
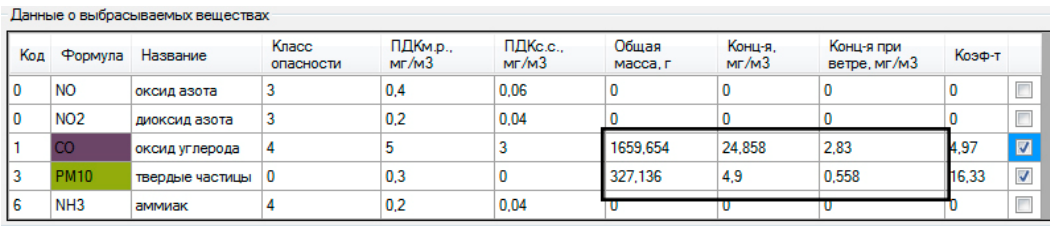


Рисунок 1. – Алгоритм комплексной оценки экологической ситуации при ремонте автодорог



Данные о выбрасываемых веществах

Код	Формула	Название	Класс опасности	ПДКм.р., мг/м3	ПДКс.с., мг/м3	Общая масса, г	Конц-я, мг/м3	Конц-я при ветре, мг/м3	Коэф-т	
0	NO	оксид азота	3	0,4	0,06	0	0	0	0	☐
0	NO2	диоксид азота	3	0,2	0,04	0	0	0	0	☐
1	CO	оксид углерода	4	5	3	1659,654	24,858	2,83	4,97	☑
3	PM10	твердые частицы	0	0,3	0	327,136	4,9	0,558	16,33	☑
6	NH3	аммиак	4	0,2	0,04	0	0	0	0	☐

Рисунок 2. – Расчетные данные по выбросам и концентрации загрязняющих веществ

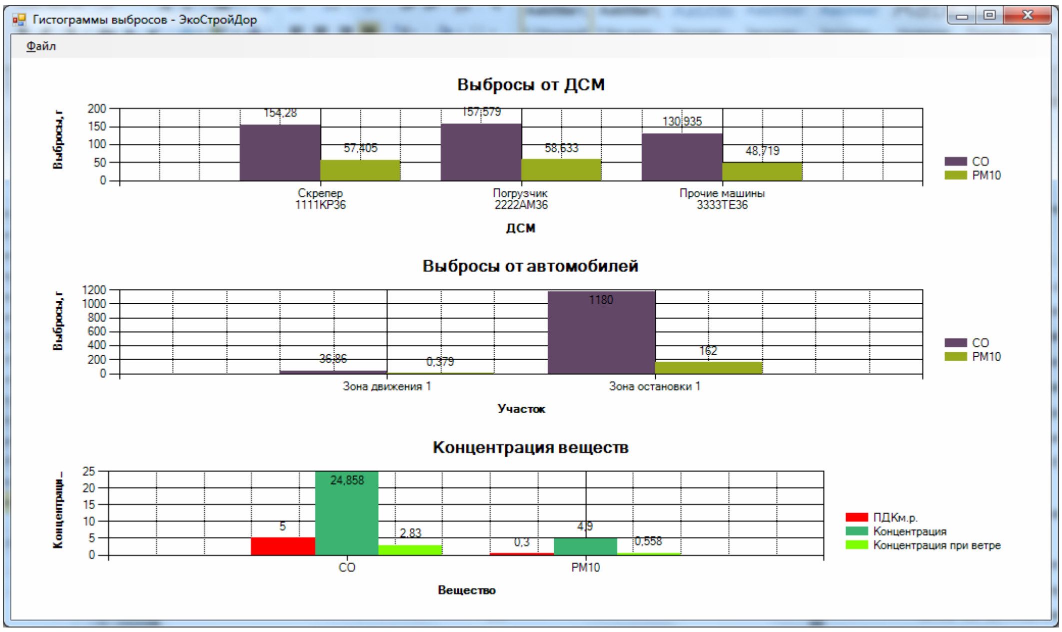


Рисунок 3. – Расчетные данные, представленные в виде гистограмм

Для демонстрации рассеивания поллютантов разработан специальный модуль, в котором предусмотрена возможность выбора загрязнителей и расстановка на карте определенных типов дорожно-строительных машин (рис. 4).

На диаграмме красным кругом обозначена зона, внутри которой концентрация выбранного загрязняющего вещества достигает своего максимального значения, то есть нахождение в этой зоне оказывает существенное негативное воздействие на человека и атмосферу. Зеленым кругом обозначена зона, внутри которой наблюдается незначительное влияние примесей, вне этой зоны уровень концентрации снижается по мере удаления от источника выбросов.

Из результатов расчета, построенных гистограмм и диаграммы рассеивания видно, что концентрация твердых частиц превышает их предельно-допустимую норму, поэтому следующий расчет произведен при условии, что на реконструируемом участке автодороги работают только дорожно-строительные машины (рис. 5).

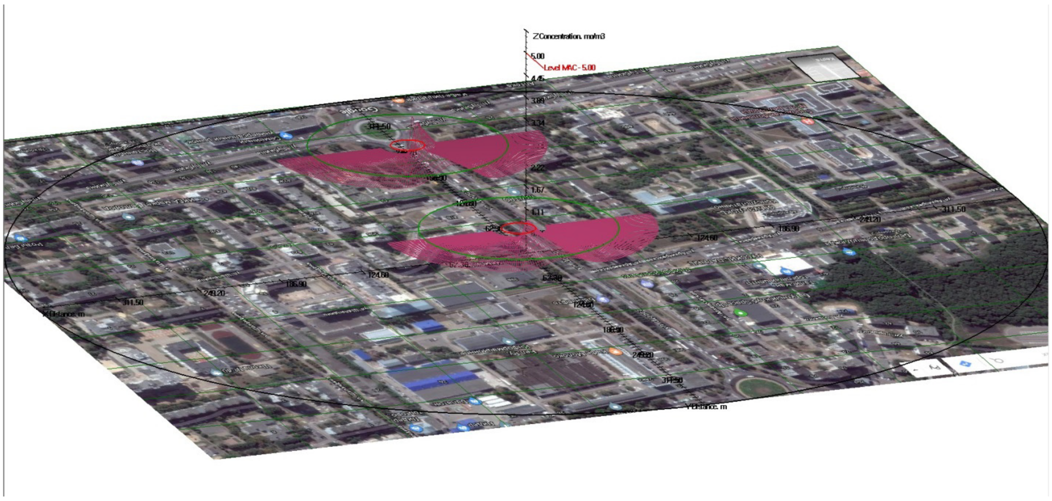


Рисунок 4. – Построение сетки рассеивания загрязняющих веществ

Данные о выбрасываемых веществах

Код	Формула	Название	Класс опасности	ПДКм.р., мг/м3	ПДКс.с., мг/м3	Общая масса, г	Конц-я, мг/м3	Конц-я при ветре, мг/м3	Коэф-т	
0	NO	оксид азота	3	0,4	0,06	0	0	0	0	☐
0	NO2	диоксид азота	3	0,2	0,04	0	0	0	0	☐
1	CO	оксид углерода	4	5	3	442,794	6,632	0,755	1,33	☑
3	PM10	твердые частицы	0	0,3	0	164,757	2,468	0,281	8,23	☑
6	NH3	аммиак	4	0,2	0,04	0	0	0	0	☐

Рисунок 5. – Расчетных данных о выбросах загрязняющих веществ от дорожно-строительных машин

Из полученных данных следует, что превышение предельно-допустимых норм загрязняющих веществ при скорости ветра 6,8 м/с не наблюдается. При реконструкции рассматриваемого участка автодороги необходимо осуществлять полное перекрытие движения городского транспорта, а также проводить дополнительные мероприятия по снижению уровня концентрации выбрасываемых ингредиентов.

Выводы

Построена концептуальная модель системы поддержки принятия решений по управлению дорожным строительством, обеспечивающая оценку и прогноз динамики состояния атмосферы в зоне строительства автомобильных дорог. Разработанный моделирующий алгоритм визуализированной оценки состояния атмосферного воздуха при строительстве и реконструкции автодорог представлен в виде обобщенной блок-схемы. Программная реализация алгоритма дана в виде компьютерных 3D моделей, используемых для построения ситуационных сценариев экологической обстановки.

Список литературы

1. Стуканов В.А., Козлов А.Т., Томилов А.А., Татаринов В.В., Пожидаева М.В. Влияние автотранспорта на состояние окружающей среды крупного промышленного города. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2012. – 168 с.
2. Шварцбург Л.Э. Человеко-природазащитное обеспеченение автоматизированного машиностроения // Вестник МГТУ, №3, 2008. – С. 19–21.
3. Ерошенко Я.Б., Самхарадзе К.К. Мониторинг загрязнения воздушного бассейна строительной техникой // Инновации в науке, №8(69), 2017. – С. 7–11.
4. Ерошенко Я.Б., Самхарадзе К.К. Компьютерный

анализ рассеивания выбросов в атмосферный воздух дорожно-строительной техникой // Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика, №1(45), 2018. – С 111–117.

5. Гвоздкова С.И. Анализ автоматизированной системы управления шумом в производственной системе // Вестник МГТУ, №3(7), 2009. – С. 56–59.
6. Ivashchuk O.A., Lazarev S.A., Ivashchuk O.D., Fedorov V.I. Situational modeling for the control of technospheric safety. *Journal of current research in science*: 4(1), 2016: 84–90.
7. Ivashchuk O.A., Konstantinov I.S., Lazarev S.A., Fedorov V.I. Research in the Field of Automated Environmental Safety Control for Industrial and Regional Clusters. *International Journal of Applied Engineering Research*. Vol. 9, no.22 (2014): 16813–16820.
8. Ivashchuk O.A., Konstantinov I.S., Shcherbinina N.V., Kvanin D.A., Gakhov R.P. Automated Management of Biotechnosphere of Local Urban Areas. *International Business Management*, 2015. Vol. 9. Issue 7: 1598–1603.
9. Соколов Э.М., Панарин В.М., Дергунов Д.В. Принципы построения системы сбора и обработки экологической информации // Современные наукоемкие технологии, 2005, №1. – 27 с.
10. Панарин В.М., Павпертов В.Г., Павпертов Г.В., Шурыгина Е.А., Рощупкин Э.В. Методика оперативного мониторинга атмосферного воздуха // Известия Тульского государственного университета. Экология и рациональное природопользование, вып. 1, Т.1, 2004. – С. 306–314.
11. Епифанова И.П., Черняховский Э.Р. Развитие рынка природоохранных работ и услуг в системе экологической безопасности. – М.: Калвис, 2007. – 51 с.
12. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Гордон В.А., Шмаркова Л.И. Некоторые вопросы реализации концепции биосферно-совместимых поселений на примере городов центрального федерального округа // Строительство и реконструкция, 2009, №5(25). – С 25–36.
13. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Гордон В.А. К построению динамической модели открытой биосферосовместимой территории // Известия Юго-Западного государственного университета, 2011, №5–2(38). – С. 16–19.
14. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Гордон В.А. Математическая модель динамики закрытой биосферосовместимой территории // Вестник Белорусско-Российского университета. 2012, №4(37). – С. 86–92.
15. Хаширова Т.Ю., Акбашева Г.А., Шакова О.А., Акбашева Е.А. Моделирование загрязненности атмосферного воздуха // Фундаментальные исследования, 2017, №8–2. – С. 325–330.

References (transliteration)

1. Stukanov V.A., Kozlov A.T., Tomilov A.A., Tatarinov V.V., Pozhidaeva M.V. Vliyanie avtotransporta na sostoyanie okruzhayushhej sredy krupnogo promyshlennogo goroda [The impact of motor transport on the environment of a large industrial city]. Voronezh, Voronezhskij gosudarstvennyj universitet, 2012, 168 p. (in Russian).
2. Shvarcburg L.E. Cheloveko-prirodazashhitnoe obespechenenie avtomatizirovannogo mashinostroeniya [Human-nature protection of automated engineering]. *Vestnik MGTU*, 2008, no.3: 19–21. (in Russian).
3. Eroshenko Y.B., Samxaradze K.K. Monitoring zagryazneniya vozdushnogo bassejna stroitel'noj texnikoj [Monitoring of air pool pollution by construction equipment]. *Innovacii v nauke*, no.8(69), 2017: 7–11. (in Russian).
4. Eroshenko Y.B., Samxaradze K.K. Komp'yuternyj analiz rasseivaniya vybrosov v atmosfernyj vozdux dorozhno-stroitel'noj texnikoj [Computer analysis of dispersion of emissions into the air by road construction equipment]. *Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. E'konomika. Informatika,* no.1(45), 2018: 111–117. (in Russian).
5. Gvozdkova S.I. Analiz avtomatizirovannoj sistemy upravleniya shumom v proizvodstvennoj sisteme [Analysis of the automated noise management system in the production system]. *Vestnik MGTU,* 2009, no.3(7): 56–59. (in Russian).
6. Ivashchuk O.A., Lazarev S.A., Ivashchuk O.D., Fedorov V.I. Situational modeling for the control of technospheric safety. *Journal of current research in science,* no.4(1), 2016: 84–90.
7. Ivashchuk O.A., Konstantinov I.S., Lazarev S.A., Fedorov V.I. Research in the Field of Automated Environmental Safety Control for Industrial and Regional Clusters. *International Journal of Applied Engineering Research.* Vol. 9, no.22 (2014): 16813–16820.
8. Ivashchuk O.A., Konstantinov I.S., Shcherbinina N.V., Kvanin D.A., Gakhov R.P. Automated Management of Biotechnosphere of Local Urban Areas. *International Business Management*, 2015. Vol. 9. Issue 7: 1598–1603.
9. Sokolov E.M., Panarin V.M., Dergunov D.V. Principy postroeniya sistemy sbora i obrabotki e'kologicheskoj informacii [Principles of building a system for collecting and processing environmental information]. *Sovremennye naukoemkie texnologii*, 2005, no.1, 27 p. (in Russian).
10. Panarin V.M., Pavpertov V.G., Pavpertov G.V., Shurygina E.A., Roshhupkin E.V. Metodika operativnogo monitoringa atmosfernogo vozduxa [Method of operational monitoring of atmospheric air]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. E'kologiya i racional'noe prirodopol'zovanie*, Issue 1, Vol. 1, 2004: 306–314. (in Russian).
11. Epifanova I.P., Chernyaxovskij E.R. Razvitie rynka prirodooxrannyx rabot i uslug v sisteme e'kologicheskoj bezopasnosti [Development of the market of environmental protection works and services in the system of environmental safety]. Moscow, Kalvis, 2007, 51 p. (in Russian).
12. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Gordon V.A., Shmarkova L.I. Nekotorye voprosy realizacii koncepcii biosferno-sovmestimyx poselenij na primere gorodov central'nogo federal'nogo

okruga [Some questions of implementation of the concept of biosphere-compatible settlements on the example of cities of the Central Federal district]. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*, 2009. no.5(25): 25–36. (in Russian).
13. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Gordon V.A. K postroeniyu dinamicheskoj modeli otkrytoj biosferosovmestimoj territorii [To build a dynamic model of an open biosphere-compatible territory]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011. no.5–2 (38): 16–19. (in Russian).
14. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Gordon V.A. Matematicheskaya model' dinamiki zakrytoj biosferosovmestimoj territorii [Mathematical model of dynamics of a closed biosphere-compatible territory]. *Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta*. 2012, no.4(37): 86–92. (in Russian).
15. Xashirova T.Y., Akbasheva G.A., Shakova O.A., Akbasheva E.A. Modelirovanie zagryaznennosti atmosfernogo vozduxa [Modeling of atmospheric air pollution]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2017, no.8–2: 325–330. (in Russian).

Єрошенко Я.Б. «Моделювання та візуалізація техногенного забруднення навколишнього середовища при ремонті автодоріг». *У статті наведено аналіз результатів досліджень в сфері управління будівництвом і реконструкцією автомобільних доріг. Описано проблеми та перспективи підтримки прийняття рішень при проведенні дорожньо-будівельних робіт, які були би раціональними з економічної та екологічної точки зору. Вказано на деякі особливості управління дорожнім будівництвом, які спрямовано на вирішення задачі охорони навколишнього середовища. Робота пов'язана з розробкою моделі та алгоритму, а також з їхньою програмною реалізацією та спрямована на забезпечення можливості візуалізованої оцінки й прогнозування стану атмосферного повітря при комплексному впливі на атмосферу в процесі виконання дорожньо-будівельних робіт поблизу житлових зон. Концептуальна модель підсистеми підтримки прийняття рішень з управління дорожнім будівництвом представлена в теоретико-множинному вигляді. Модель відображає основні компоненти системи і їхню взаємодію між собою, а також зовнішнім середовищем. Основна особливість запропонованого алгоритму комплексної оцінки екологічної ситуації полягає в тому, що він дозволяє оцінити техногенний вплив при будівництві та реконструкції автомобільних доріг як від будівельної техніки і матеріалів, транспортних потоків, так і автомобілів, які курсують на території, що розглядається. Для реалізації запропонованого алгоритму розроблено спеціальну програму, яка дозволяє провести розрахунок максимальної приземної разової концентрації забруднюючих речовин і побудувати тривимірну сітку їхнього розсіювання. Результати роботи можуть бути використані при побудові ситуаційних моделей для управління будівництвом і реконструкцією автомобільних доріг.*

Ключові слова: 3D моделювання, підтримка прийняття рішень, ГІС-технології, дорожнє будівництво, забруднюючі речовини.

Eroshenko Y.B. “Modeling and visualization of technogenic environmental pollution when repairing roads”. *The article analyzes the results of studies in the field of construction and reconstruction of roads. The problems of decision support during road construction work, which would be rational from an economic and environmental point of view, are described. Some features of road construction management aimed at solving the environmental protection problem are indicated. The author has set the task of developing a model and algorithm, as well as their software implementation to provide the possibility of visualized assessment and prediction of the state of atmospheric air under a complex technogenic impact on the atmosphere associated with road construction works near residential areas. The developed conceptual model of the decision support subsystem for road construction management is presented in a set-theoretic form. The model displays the main components of the system and their interaction with each other, as well as with the external environment. The main feature of the proposed algorithm for a comprehensive assessment of the environmental situation is that it allows you to evaluate the technological impact in the construction and reconstruction of roads from construction equipment and materials, traffic flows, and cars plying in the territory under consideration. To implement the proposed algorithm, a program has been developed that allows us to calculate the maximum surface single concentration of pollutants and build a three-dimensional grid of their dispersion. The results of the work can be used in constructing situational models for managing the construction and reconstruction of roads.*

Keywords: 3D modeling, decision support, GIS technology, road construction, pollutants.

Статья поступила в редакцию 04.10.2018
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук О.А. Иващук

Ссылка для цитирования статьи
For citation

Ерошенко Я.Б. Моделирование и визуализация техногенного загрязнения окружающей среды при ремонте автодорог // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(14)–2(15). 2018. – С. 88–93.

Eroshenko Y.B. 2018. Modeling and visualization of technogenic environmental pollution when repairing roads. *System analysis and information technology in environmental and social sciences*. no.1(14)–2(15): 88–93. (in Russian).

UDC 332.14:330.43:338.001.36

On the econometric support of strategic planning for the development of regions

Zviagintseva A.V.[1,2], Shvetsova A.A.[2]
[1]Donetsk National Technical University
[2]Belgorod State National Research University
anna_zv@ukr.net, mikhajjlovaangela@yandex.ru

Zviagintseva A.V., Shvetsova A.A. "On the econometric support of strategic planning for the development of regions". *The article shows that the improvement of the technology of strategic planning for the development of regions should be based on the use of new approaches in modeling social and economic processes based on the natural science methodology. This direction involves the application of knowledge about the phenomenological laws of the collective development of objects, based on an analysis of the dynamics of a set of indicators, as well as characteristic events and their probabilities. A positive effect is achieved through simultaneous accounting both dynamic patterns of change in the states of individual objects and statistical patterns that are characteristic of the behavior of the entire group of studied objects. The paper presents a method for predictive modeling of the development of complex objects, which served as a tool for the analysis of multidimensional statistical data presented in the article characterizing the development of Russian regions. The econometric models obtained in accordance with the proposed methodology differ in the universality of data presentation and are focused on modeling the state of socio-economic objects. The possibility of finding such relationships is shown on a specific example of constructing dependencies to assess the regions of Russia. Rosstat information databases, which are publicly available, were used as initial data. Based on the results obtained, some features and patterns of regional development of Russia were identified and described, trends in evolutionary processes were determined, leading and most lagging regions in the real economy sector were identified. The obtained results are of great importance in the field of state-building, contribute to the development of econometric methods and tools, in particular, to the improvement of integrated assessment mechanisms and aids for strategic planning of regional development, and also allow the formulation of strategic priorities and economic forecasts for the development of regions.*

Keywords: *strategic planning, methods and means of integrated assessment, econometric support, phenomenological patterns of group behavior of objects, features of regional development.*

Introduction

In many countries at the conceptual level it is accepted that strategic planning should be aimed at achieving long-term goals that would ensure the country's worthy place in the world. The implementation of such a policy is inconceivable without an effective system of integrated assessment and predictive analytics of the socio-economic development of territorial entities. Developments in the field of econometric and informational support for strategic planning have been ongoing for over 50 years. A comprehensive assessment and forecasting of the socio-economic situation of the constituent entities of the Federation would allows us to formulate strategic priorities, propose scenario models and economic forecasts for the development of regions. Since socio-economic forecasts and scenario models are the basis of modern strategic planning technologies this task is included in the list of the main provisions of the Law "On Strategic Planning in the Russian Federation" [1]. Currently, in Russia there is a reform of the system of territorial strategic planning associated with the adoption of the law on strategic planning [1], as well as the Fundamentals of state policy [2] and the draft Concept of the Strategy for Spatial Development of the Russian Federation until 2030 [3]. This process requires the development and updating of a set of hierarchically subordinate strategic planning documents at the federal, regional and municipal levels.

Today, in the practice of forecasting the development of regions, "Methodological recommendations for the development of indicators for forecasting the socio-economic development of the constituent entities of the Russian Federation" [4] are used, which are compiled taking into account practical experience in forecasting the development of the economy, the situation of regional and municipal entities, as well as using indicators that are the basis for formation of revenue parts of budgets. "Methodological recommendations for the development, adjustment, monitoring of the medium-term forecast of the socio-economic development of the Russian

Federation" are also applied [5]. Forecasts are based on a probabilistic analysis of regional development conditions, preparation and analysis of three main development scenarios (basic, conservative and target), as well as expert and extrapolation forecasting of target indicators.

Trends in improving forecasting methods

Strategic forecasting and a comprehensive assessment of socio-economic systems are usually a laborious procedure due to the presence of a large number of indicators that reflect the most diverse aspects of system development [4–9]. Such studies usually end with the development of extensive reports on the status and expected development of systems using a variety of indices, integrating indicators, and systems analysis methods.

The progressive path of development of predictive analytics technologies is associated with new approaches in modeling socio-economic processes and objects based on the use of natural science methodology [7, 10–20]. The solution to this problem can be implemented through the use of forecasting methods, which will be implemented at high levels of understanding and analysis of the available statistical information. This direction involves the application of knowledge about the phenomenological laws of the collective behavior of objects [6, 7, 21–27], based on an analysis of the totality of indicators, as well as characteristic events and their probabilities. Similar tasks are reduced to studying the processes of development of objects in multidimensional spaces under various influences and certain limiting conditions. A positive effect is achieved by simultaneous taking into account both dynamic patterns of change in the states of individual objects and statistical patterns characteristic of the behavior of a group of objects of the same type. For analysis, multidimensional statistics are used, presented in the form of temporal arrays of quantitative information. With this description, the state of an object in multidimensional space is determined by the totality of the values of its indicators, which are formed at a certain point of time.

Research in the field of system dynamics and sociophysics is ongoing, as it is recognized that important fundamental results can be obtained in modeling and forecasting of social processes [7, 10–16]. However, an analysis of the available publications indicates that at present there is no fundamental theory that would allow the use of phenomenological methods for processing and analyzing multivariate statistical data in predicting the socio-economic development of territories.

Thus, *the aim of the article* is to justify econometric models for the collective development of socio-economic objects based on phenomenological methods for analyzing multidimensional statistical data to assess the state and development of regions and improve forecasting in strategic planning.

Methods of predictive modeling of the development of territorial entities

Based on previous studies [6, 7, 21–33], a method for predictive modeling of the development of complex objects has been carried out which served as a tool for the analysis of multidimensional statistical data that characterize the state of the Russian regions. In general, the methodology for modeling objects using a set of indicators can be briefly described as follows. A geometric model of a multidimensional state space for the studied set of objects with respect to their parameters is proposed. In relation to this space, measures θ are set for a relative comparison of the states of objects among themselves [6, 7, 29]. A process is selected that can act as a standard in the state space. Data points $M_0\left(z_{1_0}, z_{2_0}, ..., z_{n_0}\right)$ are set for constructing a linear scale of a certain index $T = \theta/\theta_0$ [21, 28] in order to relatively compare the states of objects. Reference points belong to the reference process. The state of the objects is measured on the created scale and the index T values are found. Various options for constructing a measurement system are being studied and the most optimal are selected. Regression dependences are established in the form of equations of state $T = f\left(z_1/z_{1_0}, z_2/z_{2_0}, ..., z_n/z_{n_0}\right)$, reflecting the relationship of the index value with state variables [28, 29]. Further, if the principle of corresponding states is valid [6, 22, 29], each curve that belongs to the state space is additionally associated with an empirical measure, which allows in a multidimensional state space to compare processes performed by objects. Using the principles of natural science [6, 22, 29], dependencies for empirical measures W in the form of phenomenological relationships are searched for and an optimal system for measuring this quantity is formulated. In the adopted measurement system, the values of this empirical measure are determined. Phenomenological dependences are established in the form of equations for an empirical measure $W = W\left(z_1/z_{1_0}, z_2/z_{2_0}, ..., z_n/z_{n_0}\right)$ [6, 7, 26] and their quality and accuracy are estimated. Using various methods for predicting the values of empirical measures and the phenomenological relationships found, estimates for possible states of objects in the future are given. After predicting the states of objects for a certain lead-time, the values of the parameters of the objects are determined [28, 30]. Assessment of the reliability of the forecast is carried out taking into account the obtained system regularities of the relationship of the parameters of objects.

A more detailed methodology for modeling objects based on collective behavior models and a phenomenological analysis of multidimensional data, as well as a description of the construction scheme of econometric scales are presented in [18, 19, 26, 28, 30]. The formulated approaches make it possible to establish dependences for the values of the empirical measure W and index T in various processes of changing the states of objects [7, 21]. Thus, the task of comparing both states and processes with each other is reduced to choosing the optimal systems for measuring values T and measure W. Consider the possibility of obtaining such relations by a specific example.

An example of constructing dependencies to assess the regions of Russia. Some features and patterns of regional development

For a comprehensive assessment of the socio-economic situation of the regions of Russia, Federal State Statistics Service publicly available information databases were used [34]. The information was used as a sample of data on 438 indicators for 80 subjects of the Federation (excluding Sevastopol, Crimea and the Nenets Autonomous Okrug). The sample size covered 140 thousand observations (2012–2015). As an example, the article provides an assessment of a comprehensive indicator of the work of the real sector of the economy of the Russian regions in dynamics over the period from 2012 to 2015. The ranking of regions according to the level of development of the real sector of the economy was carried out according to the following seven indicators: the volume of shipped goods of own production, works and services performed by our own forces by the type of economic activity, “Mining operations,” million rubles (z_1); “Manufacturing”, million rubles (z_2); “Production and distribution of electricity, gas and water”, million rubles (z_3); agricultural products, million rubles (z_4); the volume of work performed by type of economic activity “Construction”, million rubles (z_5); volume of paid services to the population, million rubles (z_6); retail turnover, million rubles (z_7). A linear process characterizing the development of the Belgorod region, for which the first reference state corresponds to the values observed in 2012, was chosen as a reference: $z_{1_0} = 61.12$; $z_{2_0} = 265.63$; $z_{3_0} = 16.39$; $z_{4_0} = 96.86$; $z_{5_0} = 51.93$; $z_{6_0} = 34.47$; $z_{7_0} = 129.70$, and the second reference state is the observed values of the region's indicators in 2015. ($z_{1*} = 52.39$; $z_{2*} = 363.93$; $z_{3*} = 18.54$; $z_{4*} = 142.39$; $z_{5*} = 39.99$; $z_{6*} = 48.00$; $z_{7*} = 177.99$).

During the analysis, a measurement scale was used to describe the states of the regions, which was presented as an index T with a unit of measure σ equal to 1.203. The length of the run length σ was established on the basis of the adopted measure of similarity of the states of objects and taking into account the length of the segment between the reference states, divided into 100 identical intervals. As a measure of the similarity of states, the Euclidean distance was taken. The position of each subject of the Federation was measured on a scale of magnitude. Based on the study of the regression functions, it was found that the level of development of the real sector of the economy of the Russian regions can be described by the following phenomenological equations:

for 2012:

$$\ln T = 4.041 + 0.083 z_1/z_{1_0} + 0.751\, z_2/z_{2_0} + 0.086\, z_3/z_{3_0} + 0.508\, z_7/z_{7_0}, \tag{1}$$

for 2015:

$$\ln T = 4.364 + 0.080\, z_1/z_{1_0} + 0.6125\, z_2/z_{2_0} + 0.455\, z_7/z_{7_0}. \tag{2}$$

The multiple correlation coefficients of the equations were 0.97 and 0.98, respectively, which allows us to conclude that the principle of corresponding states is valid for the given case. The found equation (1) describes the states of 77 subjects of the Federation observed in 2012 out of 80 (the exception was the Tyumen region, the Republic of Tyva and Ingushetia). Equation (2) describes the states characteristic in 2015 for 74 regions of Russia (with the exception of the Tyumen and Sakhalin Regions, the Republic of Tyva and Ingushetia, the Chukotka Autonomous Okrug and the city of Moscow).

Based on the obtained generalized data, a ranking of 80 subjects of the Federation was carried out, and leaders and outsiders were identified in each federal district by indicators of the real sector of the economy. Based on the analyzed generalized data, among the 80 constituent entities of the Russian Federation, the first three places by value T were taken by the Chukotka Autonomous Okrug (Far Eastern Federal District), Sakhalin Oblast (Far Eastern Federal District), and Tyumen Oblast (Ural Federal District). The last three positions have been occupied by the Republic of Ingushetia (Southern Federal District), Tyva (Siberian Federal District) and Kalmykia (Southern Federal District). In general, the Far Eastern, Central and North-Western districts are the most developed in the country. In turn, the most lagging behind in these years were the Siberian, Southern and North Caucasian.

The analysis showed that for the Central Federal District the value T of the leader-region of Moscow in 2012 was 2.8 times higher T than the outsider region – the Ivanovo region. In 2015, the corresponding excess was 1.3 times. The average rank by value T, equal to 165.10 in 2012 and 229.57 in 2015, is in the Ryazan region. In the Northwestern Federal District, the value T of the leader region (Leningrad Oblast) exceeded the corresponding value of the outsider region in 2012 by 2 times and 2.5 times in 2015. The Vologda Oblast has an average rank in this district with values equal to 289.36 in 2012 and 370.20 in 2015. The value T of the leading region of the Southern Federal District – Krasnoyarsk Territory – in 2012 exceeded the corresponding value for the outsider region – the Republic of Kalmykia – 3.6 times, in 2015 – 3.9 times. The middle rank belongs to the Astrakhan region. The leading position of the North Caucasus Federal District is occupied by the Republic of Dagestan, for which the values T in 2012 were 3.5 times and in 2015 3.8 times higher than the corresponding values T for the outsider region of this district. The average rank is in the Kabardino-Balkarian Republic with values T equal to 92.06 in 2012 and 124.20 in 2015. The first place in the Volga Federal District was taken by the Republic of Tatarstan. The average rank in this district belongs to the Udmurt Republic with an indicator T equal to 215.80 in 2015. In the Siberian Federal District, Omsk Region took first place in value, for which the values T of the corresponding value were 6 times in 2012 and 5 times in 2015 exceeded the corresponding values for the Republic of Tyva. The average rank in the Siberian Federal District belongs to the Republic of Khakassia with an indicator T equal to 203.17. In the Far Eastern Federal District, the leader region is the Chukotka Autonomous Region. The value T of its value exceeded the corresponding value of the outsider region - the Jewish Autonomous Region – 5.6 times in 2012 and 10 times in 2015. The Kamchatka Territory took the middle place, with a value T of 174.14 in 2012 and 147.84 in 2015. In more detail, the ranking results for the most developed and most lagging in terms of federal districts of the Russian Federation are presented in table.

Conclusions and Prospects

Let's sum up the results of this work. As can be seen from the analysis of strategic planning documents and existing trends in the development of forecast methods, one of the main tasks of reforming the current strategic planning system at the regional level is the formation of effective mechanisms and tools for managing regional development, based on the reliable forecasts of the socio-economic development of the constituent entities of the Russian Federation and the country as a whole. In this case, strategic planning allows you to make flexible, extraordinary decisions related to the socio-economic development of the region, concentrate investment resources in priority areas, and also create the basis for the rational development of a rational territorial planning scheme. The effectiveness of all management activities at the regional level largely depends on the quality of the planning process. Thus, regional strategic planning is a prerequisite for improving the efficiency of public administration in general. In turn, the Programs and the subprograms included in them are the closest way to planning the development of the territory to solve the stated problems.

Despite the elaboration of a number of issues related to the theory and practice of strategic regional management, there are still a lot of problems beyond the scope of scientific consideration, the solution of which will contribute to the sustainable development of the region, as well as improving the level and quality of life of the population.

Thus, when managing the region, a limited set of tools is mainly used, which boils down to budget transfers and federal target programs.

At present, in practice, modern natural science research methods based on the use of logical-probabilistic, situational-event, agent, collective or phenomenological models for describing the behavior or development of socio-economic objects are not widely applied in practice. The main reason for this is due to insufficient study of the issues of scientific, methodological and software implementation of strategic assessments and forecasting based on these methods. At the same time, econometric methods are the most elaborated and modern analysis tools and research of various socio-economic systems.

Thus, the formation of a methodology for implementing the strategic planning system and the selection of mathematical tools would allow us to develop approaches and principles for the formation of a system built on the basis of mathematical tools, which will put the foundation for new principles in predicting the development of the country.

As such a toolkit, the article proposes a method for predictive modeling of the development of complex objects, including methods of econometric measurement of states and processes of development of socio-economic objects based on objective (rather than expert) approaches for assessing multidimensional data.

A feature of the proposed methodology is the use of the laws of collective development (group behavior) of socio-economic objects, based on the available analysis of statistical data. Many scientists believe that fundamentally new methods of strategic forecasting and planning of socio-economic development of regions can be proposed for practical application in this area.

Table. Values T and ranks of regions in Russia in the real sector of the economy

The states of the Russian Federation	Value of the quantity T, °Γ		Regional rank	
	2012 year	2015 year	on level of development 2015	in terms of development 2012–2015
Central Federal District				
Leaders:				
Moscow	330.43	472.13	6	6
Lipetsk Region	301.21	425.82	8	8
Kaluga Region	368.24	406.30	10	64
Outsiders:				
Tver Region	153.64	196.73	50	54
Oryol Region	127.71	188.62	54	34
Kostroma Region	153.84	186.60	56	68
Northwestern Federal District				
Leaders:				
Leningrad Region	276.08	431.89	7	5
St. Petersburg	379.20	414.60	9	66
Kaliningrad Region	303.01	385.40	11	16
Outsiders:				
Murmansk Region	201.73	276.46	26	22
Arkhangelsk Region	194.12	269.66	27	20
Republic of Karelia	146.11	188.55	55	57
Southern Federal District				
Leaders:				
Krasnoyarsk Region	240.82	326.88	20	37
the Volgograd Region	188.17	246.02	33	39
the Rostov Region	161.32	217.54	40	42
Outsiders:				
Republic of Adygeya	121.37	164.17	65	56
the Republic of Kalmykia	67.38	84.52	78	78
North Caucasian Federal District				
Leaders:				
Republic of Dagestan	118.30	178.58	58	36
Stavropol Territory	136.23	174.62	60	63
Republic of North Ossetia-Alania	100.26	133.42	71	67
Outsiders:				
Karachai-Cherkess Republic	95.41	101.91	76	80
Chechen Republic	61.51	93.64	77	70
Republic of Ingushetia	34.12	47.37	80	79
Privolzhsky Federal District				
Leaders:				
Republic of Tatarstan	283.50	366.23	15	15
Nizhny Novgorod Region	262.27	337.30	17	21
Perm region	284.50	337.22	18	47
Outsiders:				
Penza region	118.56	171.83	62	46
The Republic of Mordovia	129.20	171.37	63	58
Saratov region	125.45	168.36	64	55
Urals Federal District				
Leaders:				
Tyumen region	910.24	1047.93	3	7
Sverdlovsk region	292.13	382.72	12	12
Chelyabinsk region	252.79	314.44	23	33
Outsiders:				
Kurgan region	111.00	142.56	70	71
Siberian Federal District				
Leaders:				
Omsk Region	283.61	330.54	19	52
Kemerovo Region	214.39	253.10	30	62
Irkutsk Region	160.00	228.05	39	28
Outsiders:				
Buryat Republic	111.25	163.94	66	48
Altai Territory	119.45	158.95	67	61
Republic of Altai	79.60	102.63	75	76
Far Eastern Federal District				
Leaders:				
Chukotka Autonomous District	582.11	1305.00	1	1
Sakhalin region	938.47	1243.50	2	2
Magadan Region	359.85	520.01	4	4
Outsiders:				
Amur Region	136.57	194.31	51	40
Primorsk Territory	131.47	183.07	57	49
Kamchatka Region	174.14	247.84	32	26

The article shows that with a sufficient amount of observational data, it is possible to build phenomenological models characterizing the development of regions. Such models are distinguished by the universality of data presentation and are focused on modeling the state of socio-economic objects. Simultaneous accounting for changes in the states of individual objects and regularities of behavior of a group of objects as a whole helps to obtain better equations. The proposed approach is distinguished by the need to perform a significant amount of variant calculations, which requires automation of computing processes. This allows you to develop an econometric support system for strategic planning.

In general, the results obtained in the work can be used:

• in the formation of priorities, scenarios and development goals of regions in the economic, social, environmental, industrial and other fields;

• in determining the main indicators of the forecast of socio-economic development of the constituent entities of the Russian Federation in the medium term;

• for the implementation of information and analytical support for decision-making in the field of strategic planning of sustainable and balanced development of regions;

• in the development of search forecasts in the context of the development of regions, the establishment of features and patterns of spatial development of territories.

References

1. On strategic planning in the Russian Federation: Federal law [from June 28, 2014 no.172-FZ]. Available at: http://base.garant.ru/70684666/ (accessed November 23, 2018). (in Russian).
2. Fundamentals of the state police of regional development of the Russian Federation for the period to 2025 year. Approved by Decree of the President of Russia from January 16, 2017, no.13, 12 p. (in Russian).
3. The concept of the Strategy of spatial development of the Russian Federation for the period up to 2030. Project. Moscow, Minjekonomrazvitija RF. 2016, 111 p. Available at: http://kar'ery-evrazii.rf/uploadedFiles/files/Kontseptsiya_SPR.pdf (accessed November 23, 2018). (in Russian).
4. Methodological recommendations for the development of indicators of socio-economic development of the Russian Federation]. Moscow, Minjekonomrazvitija RF, 2009, 188 p. (in Russian).
5. Methodical recommendations on development, adjustment, monitoring of the medium-term forecast of social and economic development of the Russian Federation. Approved by order The Ministry of Economic Development of the Russian Federation from June, 30, 2016 year no.423. Available at: http://docs.cntd.ru/document/420383543 (accessed November 21, 2018). (in Russian).
6. Zviagintseva A.V. Probabilistic Methods of a Complex Assessment of Natural and Anthropogenic Systems. Cpektr Publishing House, Russia, Moscow, 257 p. Available at: http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17837 (accessed November 21, 2018). (in Russian).
7. Averin G.V. Systemdynamics. Donetck, Donbass, 2014, 405 p. Available at: http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17840 (December 1, 2018). (in Russian).
8. Smirnova O.O. Fundamentals of strategic planning of the Russian Federation. Moscow, Nauka, 2013, 302 p. (in Russian).
9. Budaeva K.V. Structural and content analysis and assessment of the quality of regional development strategies: dis. Cand. steward. date: 08.00.05. – Economy and management of the national economy / Ksenia Budaeva. Moscow, 2018, 169 p. (in Russian).
10. Weidlich W. Sociodynamics: a Systematic Approach to Mathematical Modelling in the Social Sciences. CRC Press, 2000, 392 p.
11. Encyclopedia of complexity and systems science. Berlin, Springer, 2009, 10370 p.
12. Econophysics and sociophysics: trends and perspectives / B.K. Chakrabarti, A. Chakraborti, A. Chatterie (eds.). Berlin, Wiley-VCH, 2006, 622 p.
13. Mathematical modeling of collective behavior in socio-economic and life sciences / G. Naldi, L. Pareschi, G. Toskani (eds.). Berlin, Springer, 2010, 438 p.
14. Slovohotov Y.L. Physics and Social Science. Part 1–3. Problems of Management, 2012, no.1: 2–20; no.2: 2–31; no.3: 2–34. (in Russian).
15. Cornell University Library, Physics and Society. Available at: http://arxiv.org/list/physics.soc-ph/recent (accessed November 23, 2018).
16. Lillo F. 2008. Econophysics and the challenge of efficiency. Complexity, Vol. 14, 3: 39–54.
17. Sadovnichiy V.A., Akaev A.A., Korotaev A.V., Malkov S.U. Modeling and forecasting of world denamics. Moscow, ISPI RAN, 2012, 359 p. (in Russian).
18. Davydov A.A. 2005. System approach in sociology: new directions, theories and methods of analysis of social systems. Moscow, URSS, 328. (in Russian).
19. Newman M.E.J. 2011. Complex systems: a survey // Amer. J. Phys., Vol. 79: 800–810, arXiv:1112.1440v1. Available at: https://arxiv.org/archive/cond-mat.stat-mech (accessed December 2, 2018).

20. The dynamics of complex urban systems. An interdisciplinary approach. 2007. S. Albeverio, et al. (eds.). Berlin, Springer, 504 p.
21. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Konstantinov I.S., Shvetsova A.A. 2018. Method and Criteria for Assessing the Sustainable Development. *The Journal of Social Sciences Research*, Academic Research Publishing Group. Special Issue. 1, vol. 4, 11–2018: 106–112.
22. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Konstantinov I.S., Shvetsova A.A. 2018. Forecasting indicators of territorial entity based on phenomenological models of collective behavior. *Amazonia investiga*. Vol. 7. Núm. 13: 42–49.
23. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Konstantinov I.S., Ekhilevsky S.G. 2018. On Quantitative Information Measures For State Spaces Of Complex Systems. J*our of Adv Research in Dynamical & Control Systems*. Vol. 10, 10–Special Issue: 1864–1870.
24. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Shevtsova M.V. and Kurtova L.N. 2017. On Representation of Discrete Information of Temporal Databases in the Continuous Form. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. Volume: 12. Issue 15: 3884–3889, DOI: 10.3923/jeasci.2017.3884.3889.
25. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Shevtsova M.V. and Kurtova L.N. 2016. Probabilistic methods of a complex assessment of quantitative information. *Research Journal of Applied Sciences*, 11(7): 415–418, DOI: 10.3923/rjasci.2016.415.418.
26. Zviagintseva A.V. Events evaluation Methodic and the countries, regions and cities ranking results on a set of indicators. *System analysis and information technology in environmental and social sciences*, no 1(10)–2(11). 2016: 147–184. (in Russian).
27. Averin G.V., Zviagintseva A.V. Phenomenological method of temporal data sets description. *System analysis and information technology in environmental and social sciences*, no 1(12)–2(13). 2017: 84–89. (in Russian).
28. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Shvetsova A.A. 2018. On approaches to predictive modeling of complex system. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija "Jekonomika. Informatika"*, Vol. 45, no 1: 140–148. (in Russian).
29. Averin G.V., Zviagintseva A.V. 2017. On justice of the principle of corresponding conditions for various systems. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija "Jekonomika. Informatika"*, 16(265). Issue 43: 104–112. (in Russian).
30. Zviagintseva A.V., Konstantinov I.S. 2018. Forecating of social and economic indicator of the cities on the basis of phenomenological models. *Information Systems and Technologies*, no 1(105): 5–15. (in Russian).
31. Averin G.V., Konstantinov I.S., Zviagintseva A.V. About continual approach to model data presentation. *Herald of computer and information technologies*, no 10. 2016: 47–52. DOI: 10.14489/vkit.2016.10.pp.047-052. Available at: http://www.vkit.ru/index.php/archive-rus/541-047-052 (accessed November 23, 2018). (in Russian).
32. Zviagintseva A.V., Mikhailova A.A. The econometric scales and criteria for the comprehensive assessment of regionals development. *System analysis and information technology in environmental and social sciences*, no 1(12)–2(13). 2017: 19–27. (in Russian).
33. Mikhailova A.A., Zviagintseva A.V. Regional features of development of subjects The Russian Federation, based on the analysis of statistical data. *System analysis and information technology in environmental and social sciences,* no.1(12)–2(13): 44–62. (in Russian).
34. Database of Federal State Statistics Service. Available at: http://www.gks.ru/wps/ (accessed November 23, 2018). (in Russian).

Звягінцева Г.В., Швецова А.О. «Про економетричне забезпечення стратегічного планування розвитку регіонів». *У статті показано, що вдосконалення технології стратегічного планування розвитку регіонів має спиратися на застосування нових підходів у моделюванні соціально-економічних процесів на основі використання природничо-наукової методології. Цей напрямок передбачає застосування знань про феноменологічні закономірності колективного розвитку об'єктів, виходячи з аналізу динаміки сукупності показників, а також характерних подій та їхніх ймовірностей. Позитивний ефект досягається завдяки одночасного врахування як динамічних закономірностей зміни станів окремих об'єктів, так і статистичних закономірностей, характерних для поведінки всієї групи досліджуваних об'єктів. У роботі представлена методика передбачувального моделювання розвитку складних об'єктів, яка послужила інструментом для наведеного в статті аналізу багатовимірних статистичних даних, що характеризують розвиток регіонів Росії. Отримані відповідно до запропонованої методики економетричні моделі відрізняються універсальністю представлення даних й орієнтовані на моделювання станів соціально-економічних об'єктів. Можливість знаходження таких співвідношень показана на конкретному прикладі побудови залежностей для оцінки регіонів Росії. В якості вихідних даних використано інформаційні бази Росстату, що знаходяться у відкритому доступі.*

На основі отриманих результатів виявлено та описано деякі особливості й закономірності регіонального розвитку Росії, знайдено тенденції еволюційних процесів, визначено лідируючі та найбільш відстаючі регіони в секторі реальної економіки. Отримані результати мають велике значення в галузі державного будівництва, сприяють розвитку методів і засобів економетрики, зокрема вдосконаленню механізмів та інструментів комплексної оцінки для стратегічного планування регіонального розвитку, а також дозволяють сформулювати стратегічні пріоритети та економічні прогнози розвитку регіонів.

Ключові слова: стратегічне планування, методи і засоби комплексної оцінки, економетричне забезпечення, феноменологічні закономірності групової поведінки об'єктів, особливості регіонального розвитку.

Звягинцева А.В., Швецова А.А. «Об эконометрическом обеспечении стратегического планирования развития регионов». *В статье показано, что совершенствование технологии стратегического планирования развития регионов должно опираться на применение новых подходов в моделировании социально-экономических процессов на основе использования естественнонаучной методологии. Данное направление предполагает применение знаний о феноменологических закономерностях коллективного развития объектов, исходя из анализа динамики совокупности показателей, а также характерных событий и их вероятностей. Положительный эффект достигается за счет одновременного учета как динамических закономерностей изменения состояний отдельных объектов, так и статистических закономерностей, характерных для поведения всей группы изучаемых объектов. В работе представлена методика предсказательного моделирования развития сложных объектов, послужившая инструментом для приведенного в статье анализа многомерных статистических данных, характеризующих развитие регионов России. Полученные в соответствии с предложенной методикой эконометрические модели отличаются универсальностью представления данных и ориентированы на моделирование состояний социально-экономических объектов. Возможность нахождения таких соотношений показана на конкретном примере построения зависимостей для оценки регионов России. В качестве исходных данных использованы информационные базы Росстата, находящиеся в открытом доступе. На основе полученных результатов выявлены и описаны некоторые особенности и закономерности регионального развития России, найдены тенденции эволюционных процессов, определены лидирующие и наиболее отстающие регионы в секторе реальной экономики. Полученные результаты имеют большое значение в области государственного строительства, способствуют развитию методов и средств эконометрики, в частности совершенствованию механизмов и инструментов комплексной оценки для стратегического планирования регионального развития, а также позволяют сформулировать стратегические приоритеты и экономические прогнозы развития регионов.*

Ключевые слова: стратегическое планирование, методы и средства комплексной оценки, эконометрическое обеспечение, феноменологические закономерности группового поведения объектов, особенности регионального развития.

Статья поступила в редакцию 05.12.2018
Рекомендована к публикации канд. техн. наук В.Н. Беловодским

Ссылка для цитирования статьи
For citation

Zviagintseva A.V., Shvetsova A.A. 2018. On the econometric support of strategic planning for the development of regions // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(14)–2(15). 2018. – С. 94–101.

Zviagintseva A.V., Shvetsova A.A. 2018. On the econometric support of strategic planning for the development of regions. *System analysis and information technology in environmental and social sciences*, no.1(14)–2(15): 94–101.

UDK 622.867.322

A New concept of time in a nonstationary problem of the dynamics of sorption

Ehilevskiy S.G.
Polotsk state University
s.ekhilevskiy@psu.by

Ekhilevskiy S.G. "A New concept of time in a nonstationary problem of the dynamics of sorption". *An alternative approach to mathematical modeling of dynamic sorption activity in the presence of a non-stationary boundary condition at the filter inlet is proposed. In its framework, the dependence on the time and the coordinate of the sorbent slip, obtained under the condition of constancy of its concentration at the inlet to the filter, is used as a "template" for solving the problem with a variable boundary condition. At the same time, it is proposed to measure the total amount of sorbent particles entering the filter. As the scale of a scale of duration of the process uses the current value of the concentration sorbtive at the entrance to the filter. The correctness of the developed approach at the initial stages of the filter operation is shown, when its absorption resource is almost not used and the current sorbent concentration is far from equilibrium. The new formalism is applied to modeling the dynamics of carbon dioxide sorption by a regenerative cartridge of a breathing apparatus on chemically bound oxygen with a jump in the diameter of granules of an oxygen-containing product based on potassium superoxide.*

Keywords: sorption dynamics, random process, the unsteadiness of the boundary conditions.

Introduction

Mathematical complexity of modeling of natural and technological processes associated with the use of inadequate tools, poorly taking into account the essence of the phenomenon under study, and the wrong choice of arguments functions describing its evolution. For example, the dynamics of carbon dioxide sorption during air regeneration in an insulating breathing apparatus should be considered as a random process [1–4], and not only as a problem of mathematical physics [5–7]. This allows you to connect a powerful additional resource in the form of the main provisions of the theory of probability and information, and completely get away from the problem of non-stationary boundary conditions. To do this, within the framework of the scheme of independent repeated tests [8], it is enough to abandon time as an abstract argument, and the age (functional state) of the regenerative cartridge is measured by the number of CO_2 molecules that have passed into it [9]. Implementation of such approaches and substantiation of ways to further improve the insulating breathing apparatus on chemically bound oxygen is the subject of this publication.

Symmetry of the probability density of the coordinate of the elementary act of sorption

The concept of quasi-stationary $W(x,t)$ profile of carbon dioxide concentration in the simulation of various situations of the working process in the regenerative cartridge of the insulating respirator is developed in [10–12]. In its framework, in the presence of stationary boundary conditions at the cartridge inlet

$$W(0,t) = W_0\,, \tag{1}$$

the countdown t begins after the replacement of the clean air in the regenerative cartridge to be regenerated by exhalation. If we neglect the CO_2 molecules associated with such substitution, the given carbon dioxide slip $\omega = W/W_0$, according to [10], will be described by the equation

$$-\omega'_\xi = e^{-\tau}\left(e^{-\xi} + \int_0^\tau e^\tau d_\tau \omega\right), \tag{2}$$

where ξ and τ – respectively the dimensionless coordinate and time associated with conventional variable ratio

$$\xi = \frac{x\beta}{v}\,, \qquad \tau = \beta\gamma t\,. \tag{3}$$

In them v – the rate of filtration of inhaled air, β and γ – phenomenological constants characterizing the rate of chemisorption of CO_2 and its resource [13], x – the distance from the entrance to the chamber.

Since the coordinate of the elementary act of sorption of the CO_2 molecule is a random value, you can enter its probability density

$$f(\xi,\tau) = -\omega'_\xi(\xi,\tau)\,, \tag{4}$$

taking into account that $1-\omega(\xi,\tau)$ – the statistical probability of absorption of the CO_2 molecule by a layer of sorbent thickness ξ.

Having differentiated (2) by ξ and τ, we obtain taking into account (4)

$$f''_{\xi\tau} + f'_{\xi} + f'_{\tau} = 0 . \qquad (5)$$

Equation (5) is symmetric with respect to the permutation of arguments. Therefore $f(\xi,\tau) = f(\tau,\xi)$, the probability density can be represented as a function of the sum and product of the arguments. To do this, we use the expression obtained in [14] for the reduced concentration.

$$\omega(\xi,\tau) = e^{-\xi}\left[1 + \sum_{n=1}^{\infty}\frac{\xi^n}{n!}\left(1 - e^{-\tau}\sum_{k=0}^{n-1}\frac{\tau^k}{k!}\right)\right]. \qquad (6)$$

Using the standard decomposition for e^{ξ}, we transform (6) to distinguish explicitly the dependence on $\xi + \tau$

$$\omega(\xi,\tau) = 1 - e^{-\xi-\tau}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\xi^n}{n!}\sum_{k=0}^{n-1}\frac{\tau^k}{k!} \qquad (7)$$

and substitute (7) to (4)

$$f(\xi,\tau) = -\omega'_{\xi}(\xi,\tau) = -e^{-\xi-\tau}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\xi^n}{n!}\sum_{k=0}^{n-1}\frac{\tau^k}{k!} +$$

$$+ e^{-\xi-\tau}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\xi^{n-1}}{(n-1)!}\sum_{k=0}^{n-1}\frac{\tau^k}{k!} . \qquad (8)$$

Taking into account the following identities

$$\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\xi^{n-1}}{(n-1)!}\sum_{k=0}^{n-1}\frac{\tau^k}{k!} = 1 + \sum_{n=2}^{\infty}\frac{\xi^{n-1}}{(n-1)!}\sum_{k=0}^{n-1}\frac{\tau^k}{k!} =$$

$$= 1 + \sum_{n=1}^{\infty}\frac{\xi^n}{n!}\sum_{k=0}^{n}\frac{\tau^k}{k!} ,$$

simplify (8)

$$f(\xi,\tau) = e^{-\xi-\tau}\left[1 + \sum_{n=1}^{\infty}\frac{\xi^n}{n!}\left(\sum_{k=0}^{n}\frac{\tau^k}{k!} - \sum_{k=0}^{n-1}\frac{\tau^k}{k!}\right)\right] =$$

$$= e^{-\xi-\tau}\left[1 + \sum_{n=1}^{\infty}\frac{(\xi\tau)^n}{(n!)^2}\right] = e^{-\xi-\tau}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(\xi\tau)^n}{(n!)^2} , \qquad (9)$$

clearly reflecting the symmetry $f(\xi,\tau)$ with respect to the permutation of arguments.

Right part (9) it is preferable for numerical experiments, because to ensure the same accuracy, it requires taking into account a much smaller number of summands than when summing previously obtained double series [1, 2, 4].

Note that the above slip has no symmetry with respect to the permutation of the arguments. To verify this, let (4) be relative $\omega(\xi,\tau)$.

$$\omega(\xi,\tau) = \int_{\xi}^{\infty} f(\xi,\tau)\,d\xi \qquad (10)$$

and substitute the right part (9)

$$\omega(\xi,\tau) = e^{-\tau}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\tau^n}{(n!)^2}\int_{\xi}^{\infty}\xi^n e^{-\xi}\,d\xi . \qquad (11)$$

By performing a (11) – fold integration in parts

$$\int_{\xi}^{\infty}\xi^n e^{-\xi}\,d\xi = n!\,e^{-\xi}\sum_{k=0}^{n}\frac{\xi^k}{k!}$$

get another expression for $\omega(\xi,\tau)$

$$\omega(\xi,\tau) = e^{-\xi-\tau}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\tau^n}{n!}\sum_{k=0}^{n}\frac{\xi^k}{k!} . \qquad (12)$$

Obviously

$$e^{-\xi-\tau}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\tau^n}{n!}\sum_{k=0}^{n}\frac{\xi^k}{k!} \neq 1 - e^{-\xi-\tau}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\tau^n}{n!}\sum_{k=0}^{n-1}\frac{\xi^k}{k!}, \qquad (13)$$

for when $\tau = 0$ the ratio (13), the right part of which is obtained by rearranging the arguments in (7), will take the form $e^{-\xi} \neq 1$.

The principle of the hourglass in the description of the dynamics of sorption with time-dependent boundary condition

At the beginning of the breathing apparatus, when the absorbing resource of the oxygen-containing product is practically untouched and any non-zero concentration of carbon dioxide is not equilibrium, the duration of the regenerative cartridge is determined only by the number of CO_2 molecules entering it. If they are not in the filtered air, the time in terms of regenerative cartridge is generally worth it.

Therefore, in order to get around the problem of unsteady boundary conditions for the determination of the age of the patron can use the principle of the hourglass, using as argument the number of molecules of CO_2 received on the input of the cartridge to this point in time

$$N(t) = Q\int_0^t W(0,t)\,dt , \qquad (14)$$

where Q – volumetric air flow through the regenerative cartridge (constant in this mode of operation of the device, determined by the level of physical activity of the person).

As you know, the distribution of holes in this number of shooters does not depend on the duration of the volley. Therefore, to use the solutions (9), (12) obtained for stationary boundary conditions, we assume that the CO_2 concentration at the cartridge inlet was the same as at the last (current) moment, but for a different period of time

$$t^*(t) = \frac{N(t)}{QW(0,t)} = \frac{1}{W(0,t)}\int_0^t W(0,t)\,dt , \qquad (15)$$

because the scale of this is the instantaneous consumption of CO_2 molecules.

Thus, the problem of non-uniformity of CO_2 intake is solved by recalculation of the second argument ω (15) at each moment of time, which in the presence of the form W(0, t) means the complete solution of the problem

$$W(x,t) = W(0,t)\,\omega(\xi(x),\tau^*(t)) , \qquad (16)$$

where

$$\tau^*(t) = \tau(t^*(t)) . \qquad (17)$$

The arguments by which the formulas (15)–(17) are obtained are not strict, because the sorption rate is determined by the concentration head [15] and depends on the law of change $W(0,t)$. However, at the beginning of the breathing apparatus error, in accordance with the above, should be small. To verify this, mentally divide the cartridge into two parts at the point with the coordinate x. If the input to the first part is maintained constant concentration of CO_2, at the input to the second it slowly grows by law (12) due to the exhaustion of the resource of the first part of the cartridge

$$W(x,t) = W_0\,\omega(\xi(x),\,\tau(t))\,, \qquad (18)$$

where $\xi(x)$ and $\tau(t)$ are the relations (3).

Taking for the second part of the cartridge x as the starting point of the coordinate, instead of (15) we get

$$t^*(t,x) = \frac{N(t,x)}{QW(x,t)} = \frac{1}{W(x,t)}\int_0^t W(x,t)dt\,. \qquad (19)$$

or, multiplying (19) by $\beta\gamma W(x,t)/W_0$

$$\tau^*(\tau,\xi) = \frac{1}{\omega(\xi,\tau)}\int_0^\tau \omega(\xi,\tau)d\tau\,, \qquad (20)$$

where $\tau^*(\tau,\xi) = \beta\gamma t^*(t,x)$. In this case, the slip through the regenerative cartridge, according to (16), will be equal to

$$W(L,t)/W_0 = \omega(\eta,\tau) =$$

$$= \omega(\xi,\tau)\omega(\eta-\xi,\tau^*(\tau,\xi)) = \omega(\eta,\tau;\xi)\,, \qquad (21)$$

where $\eta = \beta L/v$ the dimensioned length of the cartridge associated with the normal ratio (3).

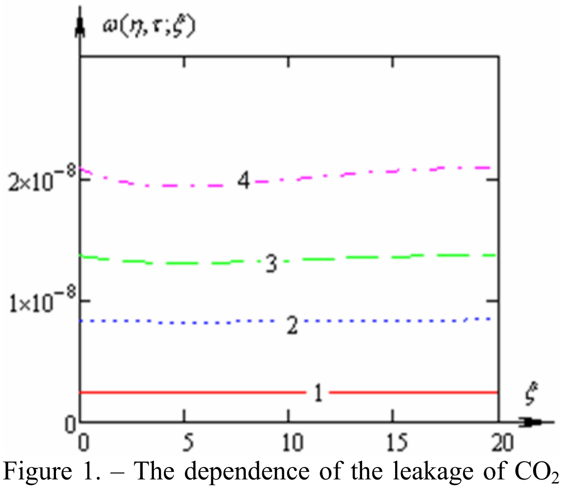


Figure 1. – The dependence of the leakage of CO_2 through a cartridge length η = 20 as a function of the coordinates of the point you cut it at different points in time: 1–τ = 0,01; 2–τ = 0,1; 3–τ = 0,15; 4–τ = 0,2

Numerical calculations based on formulas (12), (20), (21) confirm (Fig.1) that at small τ leakage does not depend on the as ξ separation cartridge apart was purely formal.

Power sources of exothermic heat in the cartridge with a jump in the diameter of the granules of the oxygen-containing product

Chemisorption of carbon dioxide is accompanied by a significant release of exothermic heat [15]. To prevent sintering of granules in the frontal (exposed to the maximum concentration head) layers of oxygen-containing product, it is necessary to reduce the speed of the process

$$\beta \to \alpha\cdot\beta\,, \qquad (\alpha < 1)\,, \qquad (22)$$

for this purpose, it is possible to increase the diameter of the granules d_0 to a value $d_1 = d_0/\sqrt{\alpha}$, because the limiting stage of the chemisorption process is the diffusion of CO_2 molecules into porous granules [16], and its speed is inversely proportional to the square of their diameter [17]. As a result, the slip through the first part of the cartridge will increase

$$\omega 1(\xi,\tau) = \omega(\alpha\xi,\alpha\tau)\,. \qquad (\xi < \zeta)\,. \qquad (23)$$

To compensate for the decrease in the dynamic sorption activity of the entire cartridge, the granules of its second part $(\xi > \zeta)$ can be reduced

$$d_2 \sim d_0/\sqrt{\delta}\,, \qquad \beta \to \delta\cdot\beta\,. \qquad (\delta > 1)\,. \qquad (24)$$

This will not lead to sintering of the second part, because the concentration head of carbon dioxide there is reduced by the work of the frontal layers. As their absorption capacity is exhausted, THE CO_2 concentration at the second part of the cartridge will increase monotonously. According to (21), (24), (3) the concentration of carbon dioxide in the second part of the cartridge $(\xi > \zeta)$ () will decrease by law

$$\omega 2(\xi,\tau) = \omega 1(\zeta,\tau)\omega\big(\delta(\xi-\zeta),\delta\tau 1^*(\tau,\zeta)\big), \qquad (25)$$

in which, according to (20), (23)

$$\tau 1^*(\tau,\xi) = \frac{1}{\omega(\alpha\xi,\alpha\tau)}\int_0^\tau \omega(\alpha\xi,\alpha\tau)d\tau\,. \qquad (26)$$

Crosslinking the dependences (23), (25) with the help of step functions of Heaviside, we obtain the distribution of the carbon dioxide concentration in the entire cartridge $(0 < \xi < \eta)$.

$$\omega 3(\xi,\tau) = \theta(\zeta-\xi)\omega(\alpha\xi,\alpha\tau) +$$

$$+\,\theta(\xi-\zeta)\omega(\alpha\zeta,\alpha\tau)\omega\big(\delta(\xi-\zeta),\delta\tau 1^*(\tau,\zeta)\big). \qquad (27)$$

Having differentiated (27) by ξ, in accordance with (4) we obtain the probability density of the elementary act of sorption in the cartridge with a jump in the diameter of the granules to the law (12) due to the exhaustion of the resource of the first part of the cartridge

$$f3(\xi,\tau) = \theta(\zeta-\xi)\alpha f(\alpha\xi,\alpha\tau) +$$

$$+\,\theta(\xi-\zeta)\omega(\alpha\zeta,\alpha\tau)\delta f\big(\delta(\xi-\zeta),\delta\tau 1^*(\tau,\zeta)\big), \qquad (28)$$

where f and ω how the functions of their arguments are given by the formulas (9) and (12) obtained for a uniformly equipped cartridge, respectively.

From the equation continuity equation

$$\partial U/\partial t = -v\,\partial W/\partial x\,, \qquad (29)$$

in whom $U(x,t)$ the volume concentration of the absorbed CO_2 molecules and (4) implies that

$$\partial U(x,t)/\partial t = \beta W_0 f(\xi(x), \tau(t))\,. \qquad (30)$$

That is, the probability density of the coordinate of the elementary act of sorption is proportional to the power of the sources of exothermic heat of the unit volume of the oxygen-containing product. Therefore, the size of the granules at the entrance to the regenerative cartridge should be increased until the peak power (Fig. 2) will not decrease to the level of prevention of sintering in the heaviest mode of operation of the respiratory apparatus (at the maximum physical load of the person). Having calculated corresponding to such diameter α, we will select value δ from a condition of equality of peaks of power on inputs in the first and second parts of a cartridge (Fig. 2). Then using (24) calculate the diameter of the granules in the second part of the cartridge.

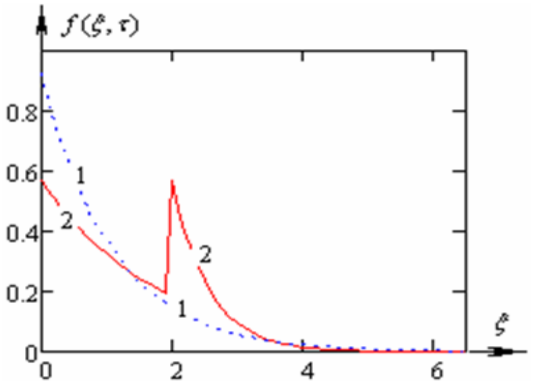


Figure 2. – Power density of exothermic heat sources at $\tau = 0.08$: 1 – in a uniformly equipped cartridge; 2 – in the cartridge with a jump in the diameter of the granules

The coordinate ζ of the jump of the diameter of the granules is the minimum of the granules that do not sinter at the entrance to the second part of the cartridge. In this case, the CO_2 slip through the entire cartridge (even without taking into account the effect due to the prevention of sintering of granules) is lower than in a uniformly equipped cartridge (Fig. 3).

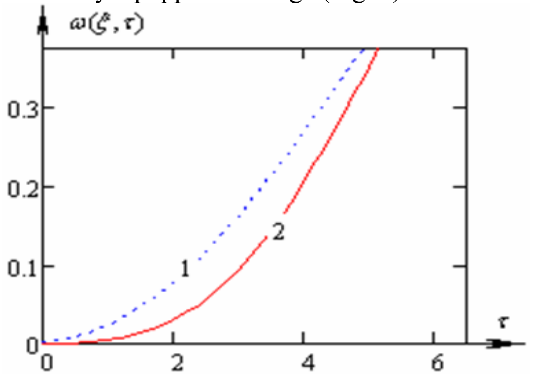


Figure 3. – Leakage of carbon dioxide through:
1 – homogeneous curb a regenerative cartridge;
2 – holder with a jump of pellet diameter

Summary

The paper proposes an alternative approach to mathematical modeling of the working process of an insulating breathing apparatus in the presence of a jump in the diameter of the granules of an oxygen-containing product in the direction of filtering the regenerated air. In the framework of dependencies, describing the dynamics of the sorption of carbon dioxide is uniformly filled cartridge with a constant concentration sorbtive at the entrance, are used in the simulation process with a variable boundary condition, for which the time is measured by the amount received by the cartridge during the operation of the CO2 molecules. In this case, the current value of the carbon dioxide concentration at the cartridge inlet is used as the scale of such a scale of the process duration. The developed formalism is applied to modeling the dynamics of sorption in the second (with a reduced diameter of the granules) part of the cartridge, which receives more and more carbon dioxide, as the absorption resource of the first part is exhausted. It is shown that at lower (than in uniformly equipped cartridge) power peaks of exothermic heat sources at the inputs to the first and second parts of the regenerative cartridge, the carbon dioxide slip through the entire cartridge is reduced.

References

1. Ekhilevskiy, S.G. and D.V. Pyatkin, 2009. [Contribution of higher moments of a random variable to the asymptotics of the distribution function]. *Vestnik of Polotsk state University. Ser. C. Basic Sciences.* no 3: 100–108. (in Russian).
2. Ekhilevskiy, S.G., O.V. Golubeva and S.A. Olshannikov, 2013. [Method of moments and dynamics of sorption activity at small times method of moments and dynamics of sorption activity at small times]. *Vestnik of Polotsk state University. Ser. V. Industry. Applied science*, no 3: 150–156. (in Russian).
3. Ekhilevskiy, S.G. and O.V. Golubeva, 2009. [Connection of probability density with initial moments of a random variable]. *News of Donetsk mining Institute*. no 2: 30–35. (in Russian).
4. Ekhilevskiy, S.G. and O.N. Murashkevich, 2014. [Influence of higher order asymmetry on the dynamics of harmful impurities sorption]. Vestnik of Polotsk state University. Ser. V. Industry. Applied science. no 13: 115–122. (in Russian).
5. Denisov, A.M. and A.V. Lukshin, 1989. [Mathematical models of one-component sorption dynamics]. Izd-vo MGU, Moscow, Russia, 71 p. (in Russian).
6. Krimshteyn, A.A., 1974. [Solution of the problem of isothermal sorption dynamics under arbitrary boundary and initial conditions]. In: Proceedings of the 1st scientific and technical conference TNIHI “Dynamics of sorption and its practical situation”. Tambov, Russia: 3–8. (in Russian).
7. Fedorov, Y.I., 2014. [Mathematical aspects of the dynamics of sorption of gases]. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*, no 3: 46–48. (in Russian).
8. Gnedenko, B.V., 1969. [Probability theory course]. Nauka, Moscow, 400 p. (in Russian).

9. Ekhilevskiy, S.G., 1997. [The problem of variable parameters in the mathematical model of chemisorption. part 1. Regeneration of the atmosphere in the respiratory circuit of the mine respirator]. *News of Donetsk mining Institute*, no 2: 43–49. (in Russian).
10. Pak, V.V. and other, 1994. [Mathematical model of the working process of the isolating mine respirator]. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*, no 1: 54–57. (in Russian).
11. Ekhilevskiy, S.G., S.A. Olshannikov and E.P. Potapenko, 2013. [Influence of variable boundary conditions on the quasi-stationary profile of CO_2 concentration in the regenerative cartridge of the mine respirator]. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*, no 3: 46–53. (in Russian).
12. Ekhilevskiy, S.G., O.V. Golubeva and E.P. Potapenko, 2015. [Simulation of the working process of the breathing apparatus on chemically bound oxygen after changing the mode of its operation]. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*, no 1: 11–15. (in Russian).
13. Pak, V.V. and other, 1998. [The value of the phenomenological parameters of the model of chemisorption in the regenerative ammo mine respirators]. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*, no 11: 108–112. (in Russian).
14. Pak, V.V. and S.G. Ekhilevskiy, 1996. [On the use of the resource of mine respirators with chemically bound oxygen]. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*, no 1: 66–71. (in Russian).
15. Mishchenko S.V., P.V. Balabanov and A.A. Krimshteyn, 2014. [Dynamics of chemiorption of carbon dioxide by substances based on superoxides of alkali metals]. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. Vol. 48, no 1: 328–334. (in Russian).
16. Venetsianov, E.V., 1980. [The method of limiting stage in the dynamics of sorption processes. Message 2. Longitudinal diffusion as the rate-limiting step The method of limiting stage in the dynamics of sorption processes. Message 2. Longitudinal diffusion as the rate-limiting step]. *Russian Chemical Bulletin*, no 8: 1714–1717. (in Russian).
17. Ekhilevskiy, S.G. and other, 2010. [Influence of the shape and size of the porous granule on the rate of internal diffusion]. *News of Donetsk mining Institute*, no 1: 105–113. (in Russian).

Єхілевський С.Г. «Нова концепція часу в нестаціонарної задачі динаміки сорбції». *Запропоновано альтернативний підхід до математичного моделювання динамічної сорбційної активності при наявності нестаціонарної граничної умови на вході в фільтр. В його рамках залежність від часу та координати проскоку сорбтива, яка отримана за умови сталості його концентрації на вході у фільтр, використовується в якості «шаблону» рішення задачі зі змінною граничною умовою. При цьому час пропонується вимірювати загальною кількістю частинок сорбтива, які надійшли до фільтру. В якості масштабу такої шкали тривалості процесу використовується поточне значення концентрації сорбтива на вході в фільтр. Показана коректність розвиненого підходу на початкових стадіях роботи фільтру, коли його поглинальний ресурс майже не використано та поточна концентрація сорбтива далека від рівноважної. Новий формалізм застосовано до моделювання динаміки сорбції вуглекислого газу регенеративним патроном дихального апарату на хімічно пов'язаному кисні зі стрибком діаметру гранул кисневмісного продукту на основі надпероксиду калію.*

Ключові слова: динаміка сорбції, випадковий процес, нестаціонарність граничних умов.

Ехилевский С.Г. «Новая концепция времени в нестационарной задаче динамики сорбции». *Предложен альтернативный подход к математическому моделированию динамической сорбционной активности при наличии нестационарного граничного условия на входе в фильтр. В его рамках зависимость от времени и координаты проскока сорбтива, полученная при условии постоянства его концентрации на входе в фильтр, используется в качестве «шаблона» решения задачи с переменным граничным условием. При этом время предлагается измерять общим количеством поступивших в фильтр частиц сорбтива. В качестве масштаба такой шкалы длительности процесса используется текущее значение концентрации сорбтива на входе в фильтр. Показана корректность развитого подхода на начальных стадиях работы фильтра, когда его поглотительный ресурс почти не использован и текущая концентрация сорбтива далека от равновесной. Новый формализм применен к моделированию динамики сорбции углекислого газа регенеративным патроном дыхательного аппарата на химически связанном кислороде со скачком диаметра гранул кислородсодержащего продукта на основе надпероксида калия.*

Ключевые слова: динамика сорбции, случайный процесс, нестационарность граничных условий.

Статья поступила в редакцию 27.09.2018
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук Ф.В. Недопекиным

Ссылка для цитирования статьи
For citation

Ехилевский С.Г. Новая концепция времени в нестационарной задаче динамики сорбции // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(14)–2(15). 2018. – С. 102–106.

Ekhilevskiy S.G. 2018. A New concept of time in a nonstationary problem of the dynamics of sorption. *System analysis and information technology in environmental and social sciences,* no. 1(14)–2(15): 102–106.

УДК 336.748.3:303.732.4:303.092.8

Комплексная оценка реального курса валют стран мира и статистические закономерности глобальной финансовой системы

Аверин Г.В., Звягинцева А.В., Швецова А.А., Синько А.А.
Белгородский государственный национальный исследовательский университет
averin.gennadiy@gmail.com, anna_zv@ukr.net, mikhajjlovaangela@yandex.ru, sinko@bsu.edu.ru

Аверин Г.В., Звягинцева А.В., Швецова А.А., Синько А.А. «Комплексная оценка реального курса валют стран мира и статистические закономерности глобальной финансовой системы». *Конкурентоспособность национальных товаров стран на мировых рынках может характеризоваться реальным курсом валют, который является ключевым макроэкономическим показателем. Комплексная оценка реальной стоимости валют, исходя из положения стран мира в области экономики и энергетики, выполнена с помощью методов событийной оценки, которая относится к средствам интеллектуального анализа многомерных данных. Отличительной особенностью такой оценки является изучение связей между вероятностями простых и совместных событий наблюдения значений различных статистических показателей стран при их социально-экономическом развитии. Весь процесс анализа основан на изучении положения стран мира по отношению к наблюдаемым среднестатистическим закономерностям развития изучаемых секторов мирового хозяйства. Установлено, что в настоящее время существуют обширные группы стран, для которых реальная стоимость национальных валют как переоценена, так и недооценена на фоне вклада этих стран в мировую экономику и энергетику. Наблюдается тенденция, когда для многих развитых в экономическом отношении стран стоимость национальных валют явно завышена. На примере комплексной оценки положения России в области экономики и энергетики показан процесс оценки реальной стоимости рубля. Исходя из динамики изменения реальной стоимости валют установлены некоторые статистические закономерности, связанные с развитием глобальной финансовой системы. Метод событийной оценки может использоваться при анализе особенностей и закономерностей процессов развития как стран мира, так и других социально-экономических систем, например, регионов, городов или предприятий.*

Ключевые слова: комплексная и событийная оценка, страны мира, показатели экономики и энергетики, реальная стоимость национальных валют, взаимосвязь показателей, закономерности развития стран.

Введение

Объективный анализ развития мировой финансовой системы является актуальной задачей глобальной экономики. Одна из проблем в данной области связана с изучением реальных курсов валют стран мира. Данному направлению исследований посвящен ряд аналитических работ [1–6]. При проведении комплексных оценок курсов валют необходимо учитывать политические, финансовые, социально-экономические, торговые, инвестиционные, энергетические и другие особенности развития стран [6]. Сейчас в мире насчитывается 159 валют, при этом некоторые из валют имеют хождение во многих странах. В экономике деньги как товар имеют свою цену, которая определяется курсом валюты, зависящим от многих ценообразующих факторов. Известно, что стоимость валюты и ее курс могут существенно различаться. Стоимость определяется количеством товаров и услуг, которые можно купить за единицу валюты, а курс – балансом спроса и предложения за валюту на рынке.

На котировку любой национальной валюты влияют экономические и политические факторы, в частности, решения центральных банков государств и международных организаций в области кредитно-денежной политики, сформировавшиеся экономические, торговые и энергетические показатели развития стран и т.д. Реальный обменный курс валюты представляет собой номинальный курс, скорректированный с учетом инфляции, которая наблюдается в данной стране. Однако реальный обменный курс чаще всего не соответствует реальной цене национальной валюты. По отношению к стоимости курс валюты может быть завышен или занижен. Другими словами, любая национальная валюта может быть переоценена или недооценена, что определяется многими геополитическими, экономическими и финансовыми факторами.

Установление реальной стоимости национальных валют является достаточно сложной задачей системного анализа в области финансово-денежной деятельности государств. Имеется много способов такой оценки, один из наиболее простых известных подходов, хотя и не очень обоснованных экономически, связан с так называемым индексом бигмака. Идея оценки основана на паритете покупательской способности, рассчитанной с помощью одинакового во всех странах мира одного продукта. Журнал Economist публикует индекс бигмака для стран мира дважды в год. Данный индекс, как простейшая оценка валют, был создан в 1986 году, чтобы проверить соотношение стоимостей курсов той или иной валюты [7].

Например, по индексу бигмака российский рубль стоит всего 20,2 рубля за доллар. Для сравнения: официальный курс доллара, установленный Центробанком на конец 2018 года, составлял 69 рублей. Получается, что рубль недооценён примерно в 3,3 раза. Таким образом, как отмечают исследователи, российский рубль сейчас является одной из самых недооцененных валют мира. По данному индексу также недооценена украинская гривна, румынский лей, южноафриканский рэнд и т.д. Самые переоценённые валюты мира, кроме доллара – это швейцарский франк, шведская крона, канадский доллар и т.д.

За время существования индекса бигмака появились различные аналогичные подходы. Например, Австралийский банк Commonwealth Securities использует для анализа покупательной способности валют индекс iPod, который сравнивает долларовую цену MP3-плеера iPod Nano объемом 2 Гб. Аналитическая компания ValuePenguin оценивает валюты по чашкам латте из «Старбакса» (tall latte). Немецкий банк Deutsche Bank для анализа покупательной способности валют применяет аналогичный индекс Cheap Date и т.д.

В целом подобные сравнения являются не корректными и слабо отражают реальное состояние происходящих процессов. Еще древнегреческий философ Парменид утверждал, что реальность не сводится просто к одному числу. Адекватное изучение сложной системы требует построения совокупности моделей, отражающих многообразие всех аспектов анализируемой системы. В данном случае, с точки зрения многих специалистов, необходимо проводить комплексную оценку влияния совокупности экономических факторов на реальную стоимость валют мира. К основным таким факторам обычно относят производительность труда, реальную цену на нефть, чистый отток частного капитала, долю государственных расходов в ВВП и т.д.

Целью данной статьи является анализ аспектов реальной стоимости валют мира в зависимости от сложившихся макроэкономических показателей экономики и энергетики стран с учетом среднестатистических тенденций развития данных секторов мирового хозяйства.

Основной концепцией реального курса является теория паритета покупательной способности (ППС). Концепция ППС, впервые предложенная Касселем (Cassel англ.), состоит в том, что номинальный обменный курс через экономические и торговые операции выравнивает цены корзин торгуемых товаров, произведенных в двух сравниваемых странах. При этом установлено, что производительность труда и условия торговли оказывают существенное влияние на формирование обменного курса валют в странах мира [8].

Выбор основных индикаторных показателей у многих авторов отличается между собой. Некоторые аналитики используют для оценок отношение чистых международных резервов к импорту, отношение широкой денежной базы к ВВП, отношение дефицита бюджета к денежной базе и т.д. Другие авторы применяют показатели прироста отношения международных резервов к импорту, экспортную цену нефти, показатель разности между ВВП и экспортом, показатель прироста объема международных резервов, внешний долг и т.д. В качестве фундаментальных факторов реального курса валют рассматриваются также показатели: производительность труда (ВВП на душу населения), условия торговли (экспорт, импорт, реальная цена на нефть марки Brent и т.д.), а также чистые иностранные активы как разность между величиной зарубежных активов, которыми владеют национальные резиденты, и величиной национальных активов, приобретенных нерезидентами.

Считается, что одним из основных факторов, влияющих на обменный курс валюты, является производительность труда в секторе торгуемых товаров в национальной и зарубежной валюте. Другим из важных факторов обменного курса являются условия торговли, а также показатели уровня развития энергетики стран мира.

Интересной задачей является установление реальной стоимости валют стран, исходя из их вклада в формирование мировой экономики или энергетики. При этом анализ стоимости валют необходимо основывать на объективных методах комплексной оценки макроэкономических показателей развития стран с учетом тенденций развития мирового хозяйства.

Методика анализа статистических данных

Сегодня анализ информации о развитии стран и регионов мира требует использования методов интеллектуального анализа данных (ИАД). В этой области исследователь оперирует массивами данных, которые содержат сотни статистических показателей. Современная карта мира включает около 200 стран, в свою очередь, ретроспективная глубина данных может составлять десятки лет по каждому объекту. Современные инструменты для анализа, статистической обработки и визуализации многомерных массивов информации имеются пока только в ИАД.

Используемая методика событийной оценки основана на построении моделей коллективного развития социально-экономических объектов в виде феноменологических соотношений, исходя из гипотезы существования для таких систем уравнений состояния. Это позволяет для группы объектов в виде стран мира сформулировать обобщенные критерии для комплексной оценки. Данная методика основана на теоретических работах авторов статьи [9–13]. Отличительной особенностью используемых методов является анализ не взаимосвязи показателей развития социально-экономических объектов, а изучение связи вероятностей событий наблюдения значений этих величин в группе анализируемых объектов. В целом методика включает несколько этапов обработки и анализа многомерных данных.

а) На первом этапе составляется база показателей в виде темпоральных массивов данных, в которой изучаемые объекты и информация о них представляется строками таблиц массива данных, а показатели, определяющие состояния объектов, – колонками таблиц. Различные таблицы соответствуют разным упорядоченным во времени периодам статистических наблюдений.

б) На втором этапе из общего количества показателей выбирается перечень атрибутивных показателей (переменных состояния), которые наиболее полно характеризуют состояния изучаемых объектов в определенном аспекте. Учитывая, что предложенная методика не ограничивает количество изучаемых объектов и их показателей, исходная информация в виде массива данных может включать десятки показателей. Однако с целью эффективности анализа при изучении различных аспектов развития объектов обработка данных и поиск закономерностей осуществляются по группам из трех – пяти показателей, которые и выступают в качестве переменных состояния p_k.

Состояние каждого объекта в пространстве переменных $p_1, p_2, \ldots, p_n$ оценивается совокупностью значений его показателей.

в) На следующем этапе используется метод событийной оценки, который позволяет любое наблюдаемое изменение в состоянии объекта рассматривать как некое событие. Для этого выделяются совместные события одновременного наблюдения значений переменных состояния. Данные события являются индикативными и наряду со значениями показателей однозначно характеризуют состояния изучаемых объектов. Факт одновременного наблюдения значений нескольких показателей объекта в определенный момент времени можно рассматривать как сложное совместное событие и оценивать вероятность такого события известными методами. В свою очередь, любое изменение состояния объекта, как событие, может быть изучено в причинно-следственной связи с индикативными событиями.

В статье использован метод непосредственного алгоритмического подсчета апостериорных вероятностей как простых, так и совместных событий на основе имеющихся статистических данных. В результате состояние каждого объекта будет характеризоваться как совокупностью значений переменных состояний, так и вероятностью индикативного события наблюдения данной совокупности. Алгоритмы сортировки, группировки и непосредственного подсчета частот совместных событий, а также скрипты определения апостериорных вероятностей этих событий, представлены в более ранних работах авторов [9, 10]. Подобный подход дает возможность проверить гипотезу о существовании многомерного статистического распределения индикативных событий и изучить связь вероятностей этих событий с вероятностями других характерных событий.

Опыт обработки данных показал, что во многих случаях распределения индикативных событий могут быть найдены в виде пробит-зависимостей $\Pr = \Pr\left(p_1/p_{1_0}, p_2/p_{2_0}, \ldots, p_n/p_{n_0}\right)$. Здесь p_{k_0} – значения показателей p_k для принятого опорного состояния, по отношению к которому относятся состояния всех остальных объектов.

г) На четвертом этапе на основе имеющихся данных строится уравнение состояния. Построение модели является одним из наиболее трудоемких этапов исследования, так как требуется проведение значительного количества вариантных расчетов для различных перечней переменных состояния, массивов данных и разных характерных событий. Качество построенной модели определяется по степени соответствия расчетных и опытных данных, для чего оцениваются значения коэффициентов корреляции, значимость регрессионных уравнений по критерию Фишера и проводится анализ адекватности моделей по остаткам.

Уравнения состояния объектов строятся в виде многомерных эмпирических распределений для совместных событий, которые представляются следующим образом:

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

$$w = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\Pr} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt; \quad \Pr = c_0 + s;$$

$$s = \sum_{k=1}^{n} c_k \ln \frac{p_k}{p_{k_0}}, \qquad (1)$$

где w – статистическая (апостериорная) вероятность совместного события наблюдения значений показателей $p_1, p_2, \ldots, p_n$, определенная алгоритмически; Pr (пробит) – инверсная функция нормального распределения со средним, равным нулю, и дисперсией, равной единице; s – энтропия состояния объектов; c_k – коэффициенты регрессии; p_k – переменные состояния; p_{k_0} – значения показателей p_k для опорного объекта, по отношению к которому осуществляется оценка.

Данные для оценки

Существуют различные базы данных, которые несут информацию о компонентах и аспектах развития стран мира. Наиболее известные их них – это база данных Программы развития ООН (ПРООН), база данных индикаторов развития стран мира Всемирного банка, статистические данные ООН, Книга фактов ЦРУ и т.д.

Сегодня эти базы данных (БД) присутствуют в открытом доступе сети Internet соответственно по адресам:

- база данных Программы развития ООН: *http://hdr.undp.org/en/data;*
- база данных Всемирного банка: *http://data.worldbank.org/*;
- статистические ресурсы ООН: *http://data.un.org*;
- Книга фактов ЦРУ: *https://www.cia.gov/library/pulications*

База данных Программы развития ООН включает статистические таблицы данных почти по 100 странам в период 1975–1980 годов и по 187 странам в период 2011–2018 годов и содержит порядка 100 индикаторов, по которым определяются несколько индексов, характеризующих различные аспекты человеческого развития.

В свою очередь, база данных Всемирного банка является значительно более обширной нежели БД ПРООН. Всемирный банк открыл свободный доступ к более чем 1200 показателям развития стран, многие из которых имеют ретроспективу до 50 лет.

Статистические ресурсы ООН охватывают около 60 миллионов записей по странам мира в аспектах сельского хозяйства, преступности, связи, развития, образования, энергетики, окружающей среды, финансов, здравоохранениия, рынка труда, производства, населения, торговли и т.д.

Книга фактов ЦРУ содержит статистические данные о странах мира с разделами география, демография, государственный строй, экономика, телекоммуникации, транспорт, вооруженные силы, энергетика.

В данной работе использованы статистические данные Книги [14], хотя предлагаемый подход может быть реализован при анализе структурированных данных из любых источников.

Соответствующая база данных Книги фактов ЦРУ, характеризующая состояние демографии, экономики и энергетики, включает информацию по каждой из 204 стран. В данном анализе для каждой страны использовалась информация по 79 показателям, которые формировали 3 группы статистической информации: демография (24 показателя); экономика (32); энергетика (23). В результате выполненных работ был сформирован массив статистических данных, который включал 13 таблиц информации (с 2005 по 2017 годы) для 204 стран по 79 показателям. Из данных таблиц выбирались группы показателей для анализа процессов развития стран по самым различным аспектам.

При анализе финансово-экономического положения стран выполнена комплексная оценка реальной стоимости валют мира и связи их значений с макропоказателями развития стран в сфере экономики и энергетики. В работе использовали значения национальных курсов валют стран (p) на конец каждого календарного года, которые были заданы в долларовом эквиваленте.

В данной статье для примера при изучении влияния экономических факторов на валютные курсы стран выбраны следующие показатели (p_k) развития:

- ВВП по паритету покупательной способности на душу населения, p_1, долларов США/чел.;
- импорт на душу населения, p_2, долларов США/чел.;
- экспорт на душу населения, p_3, долларов США/чел.

Для изучения влияния энергетических факторов на валютные курсы стран были выбраны следующие показатели:

- потребление электроэнергии на душу населения, p_4, кВт·час/чел.;
- потребление газа на душу населения, p_5, м^3/чел.;
- потребление очищенных нефтепродуктов на душу населения, p_6, баррелей/чел.

Аверин Г.В., Звягинцева А.В., Швецова А.А., Синько А.А.
Донецкий национальный технический университет

В базе данных «Книга фактов ЦРУ» все приведенные выше показатели имеются для 199 стран за последние 10 лет.

Среднестатистическая оценка реального курса валют стран мира

Для изучения взаимосвязи курса валют различных стран использовался описанный ранее метод событийной оценки. С этой целью рассматривалось совместное событие наблюдения значений трех показателей, характеризующих экономическое или энергетическое положение стран мира, и алгоритмически находились вероятности такого события на основе имеющихся массивов данных. Наблюдение значения курса валюты в стране в определенный период времени рассматривалось как простое событие, для которого тоже находилась статистическая вероятность. Далее между вероятностями простого (w) и совместного событий (w_s) находились уравнения связи с помощью регрессионного анализа. В качестве опорных величин принимались значения соответствующих показателей (p_{k0}) для России, которые наблюдались в анализируемом году. В результате были получены следующие регрессионные зависимости:

- для совместного события наблюдения значений трех показателей, характеризующих экономическое положение стран мира, получена зависимость статистической вероятности (w_s) от энтропии состояния объектов (s):

- для 2013 года

$$\Pr_s = 0{,}0600 + s\,;\ s = 0{,}1512\ \ln\left(\frac{p_1}{p_{1_0}}\right) + 0{,}1469\ln\left(\frac{p_2}{p_{2_0}}\right) + 0{,}2782\ln\left(\frac{p_3}{p_{3_0}}\right); \qquad (2)$$

- для 2017 года

$$\Pr_s = -0{,}1111 + s\,;\ s = 0{,}2107\ \ln\left(\frac{p_1}{p_{1_0}}\right) + 0{,}164\ln\left(\frac{p_2}{p_{2_0}}\right) + 0{,}2144\ln\left(\frac{p_3}{p_{3_0}}\right); \qquad (3)$$

- для совместного события наблюдения значений трех показателей, характеризующих положение стран мира в области энергетики, получена зависимость вероятности (w_s) от энтропии состояния объектов (s):

- для 2013 года

$$\Pr_s = 0{,}2662 + s\,;\ s = 0{,}1090\ \ln\left(\frac{p_4}{p_{4_0}}\right) + 0{,}0614\ \ln\left(\frac{p_5}{p_{5_0}}\right) + 0{,}3619\ \ln\left(\frac{p_6}{p_{6_0}}\right); \qquad (4)$$

- для 2017 года

$$\Pr_s = -0{,}4137 + s\,;\ s = 0{,}0848\ \ln\left(\frac{p_5}{p_{5_0}}\right) + 0{,}1262\ln\left(\frac{p_6}{p_{6_0}}\right) + 0{,}3889\ln\left(\frac{p_7}{p_{7_0}}\right); \qquad (5)$$

- для простого события наблюдения значений курса валют получена зависимость статистической вероятности (w) от энтропии состояния (s):

- для 2013 года

$$\Pr = -0{,}4169 + s\,;\ \ s = 0{,}2929\ \ln\left(\frac{p}{p_0}\right); \qquad (6)$$

- для 2017 года

$$\Pr = -0{,}3733 + s\,;\ \ s = 0{,}2915\ \ln\left(\frac{p}{p_0}\right). \qquad (7)$$

Изучение связи простого события (события наблюдения курса валюты в стране) и совместного события (события наблюдения значений трех показателей в сфере экономики или энергетики) основывалось на регрессионном анализе данных о вероятностях этих событий. В результате были получены две регрессионные зависимости:

- для сферы экономики (2017 г.)

$$w = 0{,}2008 + 0{,}8234\ w_s\,; \qquad (8)$$

- для сферы энергетики (2017 г.)

$$w = 0{,}2185 + 0{,}7168\ w_s\,. \qquad (9)$$

Коэффициенты корреляции уравнений (2) – (7) составили 0,97÷0,99, а уравнений (8) и (9) – 0,70÷0,73. Результаты обработки данных приведены на рисунках 1–4.

Из рисунков 3 и 4 видно, что реальная стоимость валют стран мира в зависимости от макроэкономических показателей и с учетом сложившихся среднестатистических тенденций развития секторов мировой экономики и энергетики может быть переоценена или недооценена. Разброс данных относительно среднестатистической линии регрессии достаточно существенен, что указывает на множество факторов, влияющих на формирование реальной стоимости валют. Однако, несмотря на разброс данных, статистическая связь между вероятностями событий значима. Наблюдается также определенная динамика наблюдаемых изменений во времени.

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

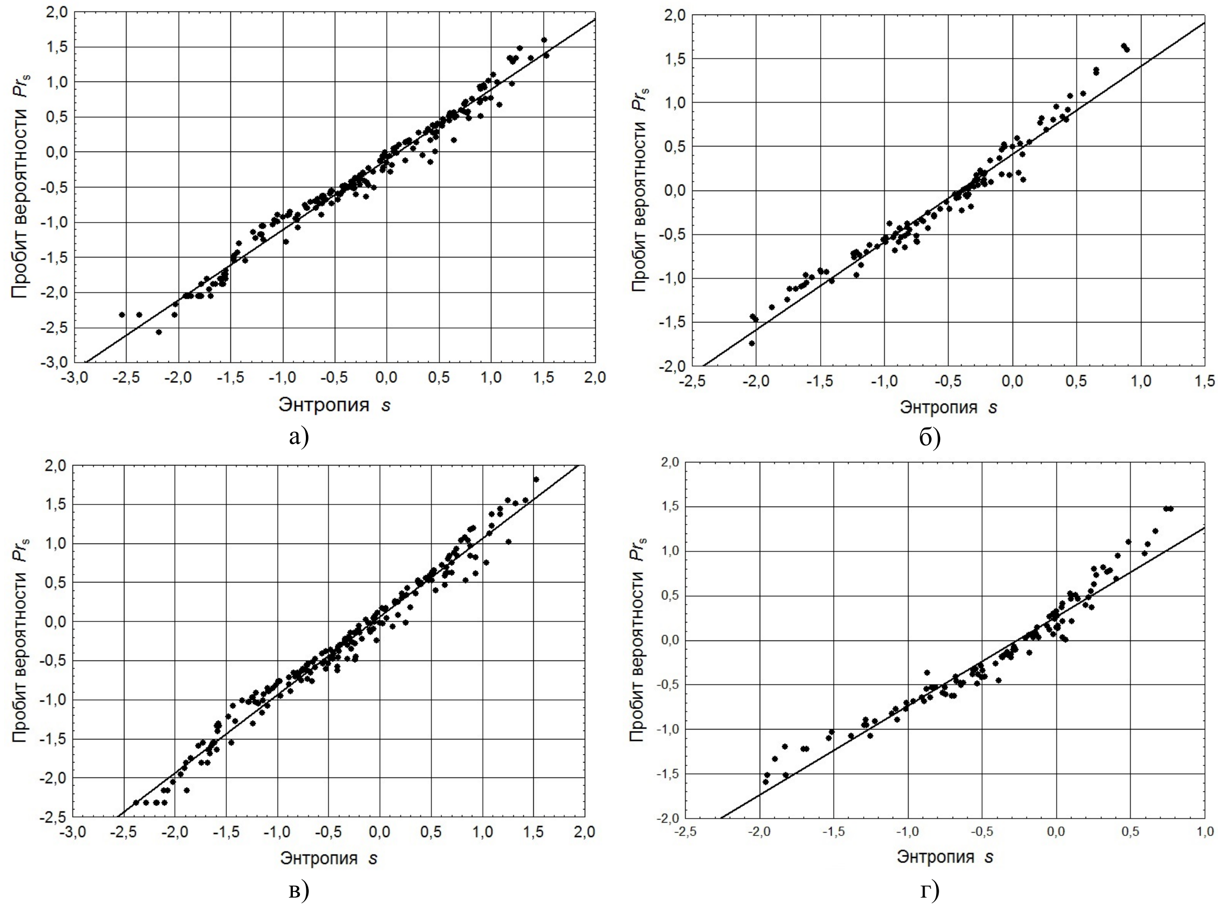


Рисунок 1. – Зависимость статистической вероятности w_s совместного события наблюдения значений трех показателей от энтропии s:
а) экономика 2017 год; б) энергетика 2017 год;
в) экономика 2013 год; г) энергетика 2013 год

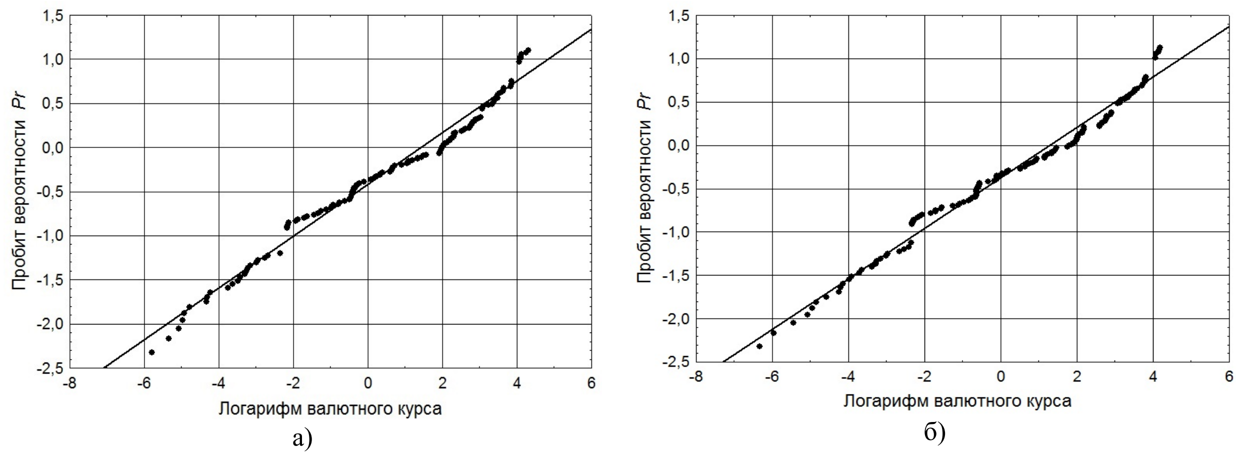


Рисунок 2. – Зависимость статистической вероятности w простого события наблюдения значений курса валют от энтропии s:
а) 2013 год; б) 2018 год

Аверин Г.В., Звягинцева А.В., Швецова А.А., Синько А.А.
Донецкий национальный технический университет

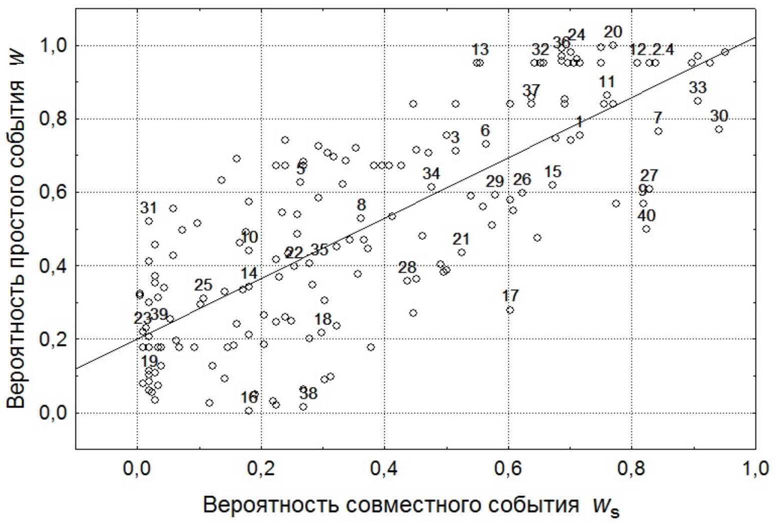


Рисунок 3. – Взаимосвязь вероятностей простого и совместного событий для сферы экономики стран мира в 2017 году

1 – Австралия; 11 – Финляндия; 21 – Мексика; 31 – Афганистан;
2 – Австрия; 12 – Германия; 22 – Никарагуа; 32 – Испания;
3 – Беларусь; 13 – Греция; 23 – Нигерия; 33 – Швейцария;
4 – Бельгия; 14 – Индия; 24 – Оман; 34 – Турция;
5 – Бразилия; 15 – Израиль; 25 – Пакистан; 35 – Украина;
6 – Болгария; 16 – Венесуэла; 26 – Польша; 36 – Великобритания;
7 – Канада; 17 – Япония; 27 – Катар; 37 – США;
8 – Китай; 18 – Казахстан; 28 – Россия; 38 – Вьетнам;
9 – Дания; 19 – Южная Корея; 29 – Саудовская Аравия; 39 – Йемен;
10 – Египет; 20 – Кувейт; 30 – Сингапур; 40 – Швеция.

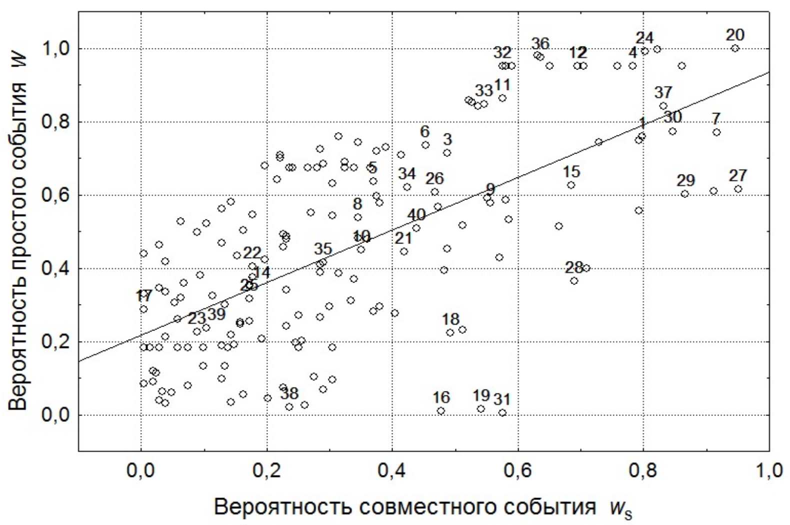


Рисунок 4. – Взаимосвязь вероятностей простого и совместного событий для сферы энергетики стран мира в 2017 году

1 – Австралия; 11 – Финляндия; 21 – Мексика; 31 – Ливия;
2 – Австрия; 12 – Германия; 22 – Никарагуа; 32 – Испания;
3 – Беларусь; 13 – Греция; 23 – Нигерия; 33 – Швейцария;
4 – Бельгия; 14 – Индия; 24 – Оман; 34 – Турция;
5 – Бразилия; 15 – Израиль; 25 – Пакистан; 35 – Украина;
6 – Болгария; 16 – Венесуэла; 26 – Польша; 36 – Великобритания;
7 – Канада; 17 – Япония; 27 – Катар; 37 – США;
8 – Китай; 18 – Казахстан; 28 – Россия; 38 – Вьетнам;
9 – Дания; 19 – Иран; 29 – Саудовская Аравия; 39 – Йемен;
10 – Египет; 20 – Кувейт; 30 – Сингапур; 40 – Швеция.

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

Анализ полученных результатов

Изучение данных рисунка 3 показывает, что существует среднестатистический уровень, определяющий глобальную тенденцию взаимосвязи реальной стоимости валют мира и макроэкономических показателей развития экономики (линия регрессии на рисунке 4).

Анализ положения стран отражает существование развитой группы стран над линией регрессии, для которых национальные валюты переоценены (Греция, Испания, Турция, Оман, Кувейт, Финляндия, Австрия, Бельгия, Германия, США и др.). Группа развивающихся стран в левой части рисунка над линией регрессии (Афганистан, Доминикана, Эритрея, Папуа-Новая Гвинея, Судан, Таджикистан, Тонга и др.) имеет также переоцененные национальные валюты.

В свою очередь, в группе развитых стран (Чехия, Дания, Венгрия, Япония, Норвегия, Катар, Сингапур, Швеция, Тайвань и др.) национальные валюты недооценены. Группа развивающихся стран в левой части рисунка под линией регрессии (Бирма, Колумбия, Гвинея, Индонезия, Иран, Ирак, Лаос, Ливан, Узбекистан, Венесуэла, Вьетнам и др.) имеет также недооцененные национальные валюты.

Стоимость валют Австралии, Новой Зеландии, Китая, Турции, Ирландии, Люксембурга, Бангладеш, Индии, Пакистана и др. соответствует среднестатистическому уровню развития мировой экономики.

Если исходить из развития энергетики в странах мира, то из данных рисунка 5 видно, что также существует среднестатистический уровень, определяющий глобальную тенденцию взаимосвязи реальной стоимости валют мира и показателей развития энергетики (линия регрессии на рисунке 4).

Исходя из потребления энергии имеется энергетически развитая группа стран над линией регрессии, для которых национальные валюты переоценены (Австрия, Бахрейн, Бельгия, Эстония, Финляндия, Франция, Германия, Ирландия, Италия, Латвия, Нидерланды, Оман, Швейцария, Великобритания и др.). Группа энергетически слабо развитых стран в левой части рисунка над линией регрессии (Афганистан, Доминикана, Эритрея, Эфиопия, Гана, Молдова, Папуа-Новая Гвинея, Судан, Тонга, Замбия и др.) имеет также переоцененные национальные валюты.

В группе энергетически развитых стран (Катар, Россия, Саудовская Аравия, Тайвань, Объединенные Арабские Эмираты и др.) национальные валюты недооценены.

Группа стран с относительно слабым потреблением энергии в левой части рисунка под линией регрессии (Колумбия, Гвинея, Индонезия, Ирак, Лаос, Ливан, Мадагаскар, Монголия, Парагвай, Танзания, Уганда, Узбекистан, Вьетнам и др.) имеет также недооцененные национальные валюты.

В самой нижней части рисунка 4 находятся Иран, Венесуэла и Ливия, в которых национальные валюты очень сильно недооценены.

Полученные данные позволяют оценить реальный курс валюты любой страны исходя из среднестатистических тенденций развития глобальной экономики и энергетики. Например, на рисунке 3 экономическое положение России (28) определено значениями вероятностей w_s=0,436 и w=0,356. Исходя из среднестатистических тенденций в экономике, которые определены представленной регрессионной зависимостью (8), оптимальное значение вероятности должно составлять w=0,560. При данной вероятности из уравнения (7) получим значение для курса рубля в интервале 8–10 рублей за доллар.

В свою очередь, на рисунке 4 положение России (28) в области энергетики определено значениями вероятностей w_s=0,69 и w=0,356. Исходя из среднестатистических тенденций в энергетике, которые определены регрессионной зависимостью (9), значение вероятности должно составлять w=0,810. При данной вероятности из уравнения (7) получим значение для курса рубля в интервале 1,5–2,5 рублей за доллар. Таким образом видно, что российская валюта существенно недооценена. Американская валюта при оценке по выбранным показателям экономики переоценена, а по показателям энергетики – практически соответствует среднестатистической глобальной тенденции (рис. 3 и 4). Валюта Китая в обоих случаях несколько переоценена, а валюта Индии соответствует глобальной тенденции.

При изучении связи простых событий в 2013 и 2017 годах (события наблюдения курсов валют в странах) получена регрессионная зависимость в виде (рис. 5, а):

$$w_{2017} = -0{,}0065 + 0{,}9923\, w_{2013}\,. \qquad (10)$$

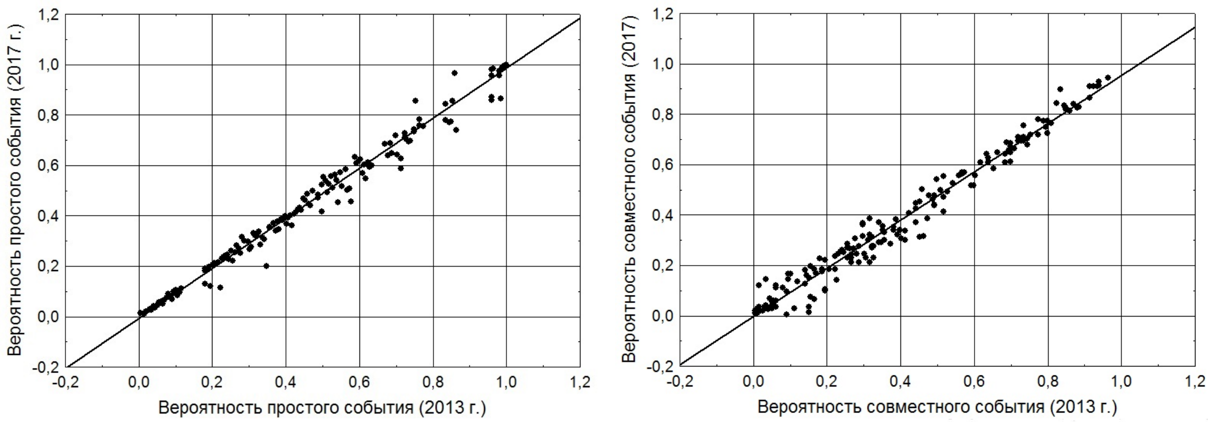
Из данной зависимости и рисунка 5, а видно, что глобальная тенденция формирования реальной стоимости национальных курсов валют в 2017 году не изменилась по отношению к 2013 году (коэффициент регрессии в (10) почти равен 1,0).

В целом для сферы экономики динамика процессов характеризуется регрессионной зависимостью вида (рис. 5, б):

$$w_{s,2017} = -0{,}0019 + 0{,}9558\, w_{s,2013}\,. \qquad (11)$$

Здесь коэффициент регрессии равен 0,9558. Это говорит о том, что наблюдается определенное снижение интенсивности глобальных экономических процессов в течении пяти лет.

Аверин Г.В., Звягинцева А.В., Швецова А.А., Синько А.А.
Донецкий национальный технический университет



а) б)

Рисунок 5. – Зависимость статистических вероятностей различных событий:
а) вероятность w простых событий наблюдения значений курса валют в 2013 и 2017 годах;
б) вероятность w_s совместных событий наблюдения значений показателей
в сфере экономики в 2013 и 2017 годах

Выводы

Таким образом, из приведенных результатов видна возможность оценки реальной стоимости национальных валют в зависимости от макроэкономических показателей развития стран. При этом учитываются вклад стран и сложившиеся среднестатистические тенденции в развитии различных секторов мирового хозяйства. Предложенный метод комплексной оценки позволяет искать закономерности между вероятностями событий, которые связаны с наблюдением значений различных показателей развития стран.

Установлено, что существуют обширные группы стран, для которых реальная стоимость национальных валют в настоящее время как переоценена, так и недооценена, при этом наблюдается тенденция, когда для многих развитых в экономическом отношении стран курсы национальных валют завышены.

На основе предложенного метода могут анализироваться процессы развития как стран мира, так и других социально-экономических объектов. Это дает возможность выявить тенденции в развитии городов, регионов и стран, а также установить влияние экономических факторов на положение отдельных объектов по отношению ко всей группе изучаемых объектов.

Список литературы

1. Chatterjee S. and A. Mursagulov, 2016. Fiscal policy and the real exchange rate. *Macroeconomic Dynamics*, 20(7): 1742–1770, DOI: https://doi.org/10.1017/S1365100515000048.
2. Weber A. and Y. Chunfang, 2011. Armenia: An Assessment of the Real Exchange Rate and Competitiveness. IMF Working Paper, WP/11/20. International Monetary Fund, 40 p.
3. Lane P.R. and G.M. Milesi-Ferretti, 2000. The Transfer Problem Revisited: Net Foreign Assets and Real Exchange Rates. The Review of Economics and Statistics. IMF Working Paper WP/00/123, International Monetary Fund, 38 p.
4. Habib M. and M. Kalamova, 2007. Are there Oil Currencies? The Real Exchange Rate of Oil Exporting Countries. European Central Bank. Working Paper series, no 839 / december 2007, 39 p.
5. Sosunov K. and N. Ushakov, 2009. Determination of Real Exchange Rate of Ruble and Assessment of LongRun Policy of Real Exchange Rate Targeting. Working Paper, WP12/2009/02. Moscow, State University – Higher School of Economics, 64 p.
6. Божечкова А.В., Трунин П.В. Анализ факторов динамики реального валютного курса рубля. – М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2016. – 96 с.
7. The Economist. Available at: https://www.economist.com/printedition/2019-11-30 (accessed November 28, 2018).
8. Spatafora N. and E. Stavrev, 2003. The Equilibrium Real Exchange Rate in a Commodity Exporting Country: the Case of Russia, IMF Working Paper 03/93.
9. Аверин Г.В. Системодинамика. Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с. URL: http://www.chronos.msu.ru/ru/rnameindex/averin-s (27.11.2018).
10. Звягинцева А.В. Вероятностные методы комплексной оценки природно-антропогенных систем / Под науч. ред. д.т.н., проф. Г.В. Аверина. М.: Спектр, 2016. – 257 с. URL: http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17837 (25.11.18).

11. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Konstantinov I.S. and O.A. Ivashuk, 2015. Data Intellectual Analysis Means Use for Condition Indicators Assessment of the Territorial and State Formation. *Research Journal of Applied Sciences*, 10(8): 411–414, DOI: 10.3923/rjasci.2015.411.414.
12. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Konstantinov I.S. and A.A. Shvetsova, 2018. Method and Criteria for Assessing the Sustainable Development. *Journal of Social Sciences Research. Special Issue.* 1: 106–112.
13. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Konstantinov I.S. and A.A. Shvetsova, 2018. Forecasting indicators of territorial entity based on phenomenological models of collective behavior. *Amazonia investiga*, 7(13): 42–49.
14. Central Intelligence Agency (US). Available at: https://www.cia.gov/library/publications/ (accessed November 27, 2018).

References (transliteration)

1. Chatterjee S. and A. Mursagulov, 2016. Fiscal policy and the real exchange rate. Macroeconomic Dynamics, 20(7): 1742–1770, DOI: https://doi.org/10.1017/S1365100515000048.
2. Weber A. and Y. Chunfang, 2011. Armenia: An Assessment of the Real Exchange Rate and Competitiveness. IMF Working Paper, WP/11/20. International Monetary Fund, 40 p.
3. Lane P.R. and G.M. Milesi-Ferretti, 2000. The Transfer Problem Revisited: Net Foreign Assets and Real Exchange Rates. The Review of Economics and Statistics. IMF Working Paper WP/00/123, International Monetary Fund, 38 p.
4. Habib M. and M. Kalamova, 2007. Are there Oil Currencies? The Real Exchange Rate of Oil Exporting Countries. European Central Bank. Working Paper series, no 839 / december 2007, 39 p.
5. Sosunov K. and N. Ushakov, 2009. Determination of Real Exchange Rate of Ruble and Assessment of LongRun Policy of Real Exchange Rate Targeting. Working Paper, WP12/2009/02. Moscow, State University – Higher School of Economics, 64 p.
6. Bozhechkova A.V., Trunin P.V. Analiz faktorov dinamiki real'nogo valjutnogo kursa rublja [Analysis of dynamics factors real currency exchange rate of rouble]. Moscow, Izdatel'skij dom “Delo” RANHiGS, 2016, 96 p. (in Russian).
7. The Economist. Available at: https://www.economist.com/printedition/2019-11-30 (accessed November 28, 2018).
8. Spatafora N. and E. Stavrev, 2003. The Equilibrium Real Exchange Rate in a Commodity Exporting Country: the Case of Russia, IMF Working Paper 03/93.
9. Averin G.V. Sistemodinamika [System dynamics]. Doneck, Donbass, 2014, 405 p. Available at: http://www.chronos.msu.ru/ru/rnameindex/averin-s (accessed November 27, 2018). (in Russian).
10. Zviagintseva A.V. Verojatnostnye metody kompleksnoj ocenki prirodno-antropogennyh system [Probabilistic Methods of a Complex Assessment of Natural and Anthropogenic Systems] / Pod nauch. red. d.t.n., prof. G.V. Averina. Moscow, Spektr, 2016, 257 p. Available at: http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17837 (accessed November 25, 2018). (in Russian).
11. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Konstantinov I.S. and O.A. Ivashuk, 2015. Data Intellectual Analysis Means Use for Condition Indicators Assessment of the Territorial and State Formation. *Research Journal of Applied Sciences,* 10(8): 411–414, DOI: 10.3923/rjasci.2015.411.414.
12. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Konstantinov I.S. and A.A. Shvetsova, 2018. Method and Criteria for Assessing the Sustainable Development. *Journal of Social Sciences Research. Special Issue*. 1: 106–112.
13. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Konstantinov I.S. and A.A. Shvetsova, 2018. Forecasting indicators of territorial entity based on phenomenological models of collective behavior. *Amazonia investiga*, 7(13): 42–49.
14. Central Intelligence Agency (US). Available at: https://www.cia.gov/library/publications/ (accessed November 27, 2018).

Аверін Г.В., Звягінцева Г.В., Швецова А.О., Сінько О.О. «Комплексна оцінка реального курсу валют країн світу та статистичні закономірності глобальної фінансової системи». *Конкурентоспроможність національних товарів країн на світових ринках може характеризуватися реальним курсом валют, який є ключовим макроекономічним показником. Комплексна оцінка реальної вартості валют, виходячи з положення країн світу в галузі економіки та енергетики, виконана за допомогою методів подієвої оцінки, яка відноситься до засобів інтелектуального аналізу багатовимірних даних. Відмінною особливістю такої оцінки є вивчення зв'язків між ймовірностями простих і спільних подій спостереження значень різних статистичних показників країн при їх соціально-економічному розвитку. Весь процес аналізу засновано на вивченні положення країн світу по відношенню до спостережуваних середньостатистичних закономірностей розвитку досліджуваних секторів світового господарства. Встановлено, що нині існують великі групи країн, для яких реальна вартість національних валют як переоцінена, так і недооцінена на тлі вкладу цих країн у світову економіку та енергетику. Спостерігається тенденція, коли для багатьох розвинених в економічному відношенні країн вартість національних валют явно завищена. На прикладі комплексної оцінки становища Росії в області* *економіки та енергетики показано процес оцінки реальної вартості рубля. Виходячи з динаміки зміни реальної вартості валют встановлено деякі статистичні закономірності, пов'язані з розвитком глобальної фінансової системи. Метод подієвої оцінки може використовуватися при аналізі особливостей та закономірностей процесів розвитку як країн світу, так і інших соціально-економічних систем, наприклад, регіонів, міст або підприємств.*

Ключові слова: комплексна та подієва оцінка, країни світу, показники економіки та енергетики, реальна вартість національних валют, взаємозв'язок показників, закономірності розвитку країн.

Averin G.V., Zviagintseva A.V., Shvetsova A.A., Sinko A.A. "Comprehensive assessment of the real exchange rate of the world's currencies and statistical regularities of the global financial system". *The competitiveness of national products in world markets can be characterized by the real exchange rate, which is a key macroeconomic indicator. A comprehensive assessment of the real value of currencies, based on the situation of countries in the world in the field of economy and energy, is performed using the methods of event assessment, which refers to the means of intellectual analysis of multidimensional data. A distinctive feature of this assessment is the study of the relationship between the probabilities of simple and joint events of observation of the values of various statistical indicators of countries in their socio-economic development. The whole process of analysis is based on the study of the position of the world's countries in relation to the observed average patterns of development of the studied sectors of the world economy. It is established that at present there are vast groups of countries for which the real value of national currencies is both overvalued and undervalued against the background of the contribution of these countries to the world economy and energy. There is a tendency for many economically developed countries to overestimate the value of national currencies. The process of assessing the real value of the ruble is shown on the example of a comprehensive assessment of Russia's economic and energy situation. Based on the dynamics of changes in the real value of currencies, some statistical patterns associated with the development of the global financial system have been established. The event-based assessment method can be used to analyze the features and regularities of the development processes of both countries and other socio-economic systems, such as regions, cities or enterprises.*

Keywords: Complex and event-based assessment, countries of the world, economic and energy indicators, the real value of national currencies, the relationship of indicators, patterns of countries' development.

Статья поступила в редакцию 28.11.2018
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук И.С. Константиновым

Ссылка для цитирования статьи
For citation

Аверин Г.В., Звягинцева А.В., Швецова А.А., Синько А.А. Комплексная оценка реального курса валют стран мира и статистические закономерности глобальной финансовой системы // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(14)–2(15). 2018. – С. 107–117.

Averin G.V., Zviagintseva A.V., Shvetsova A.A., Sinko A.A. 2018. Comprehensive assessment of the real exchange rate of the world's currencies and statistical regularities of the global financial system. *System analysis and information technology in environmental and social sciences,* no.1(14)–2(15): 107–117. (in Russian).

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

УДК 519.254

Композиция моделей машинного обучения на примере классификации изображений по неформализованному признаку

Флоринский Вяч. В.[1], Флоринский Влад. В.[1,2]
[1]Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
[2]Белгородский государственный национальный исследовательский университет
florinsky83@gmail.com; flor@bsu.edu.ru

Флоринский Вяч. В., Флоринский Влад. В. «Композиция моделей машинного обучения на примере классификации изображений по неформализованному признаку». *В предложенной работе рассмотрена классификация изображений по неформальному признаку области видимости в кадре на примере фотофиксации автомобилей. Представлена классификация контура автомобиля по области видимости в кадре. С помощью корреляционного анализа установлено, какие параметры являются наиболее существенными для неформализованного целевого показателя – класса видимости рассматриваемых объектов. Произведен анализ данных, получаемых от камер видеонаблюдения, и выделены параметры, которые хорошо формализованы, легко вычисляются, коррелируют с классом видимости контура и применяются при обучении классификатора. Использованы три общеизвестных модели: нейросеть, дерево решений, случайный лес. Разработанная модель позволяет решать задачу классификации по неформализованному признаку с достаточно высокой точностью.*

Ключевые слова: анализ данных, классификаторы, нейросети, машинное обучение.

Введение

Классификация изображений – одна из самых распространенных задач машинного обучения [1–3]. Потребность в классификации изображений возникает в различных прикладных областях: от анализа снимков МРТ и контроля соблюдения техники безопасности в строительстве до автоматической фиксации нарушений ПДД. Стандартный подход заключается в подготовке и разметке обучающей и тестовой выборок, на которых происходит обучение модели и первичный контроль точности [3–6]. Однако в случаях неформальной классификации разметка изображений представляет значительные трудности даже для опытного оператора, так как признак классификации недостаточно формализован. Это негативно влияет на итоговую точность и устойчивость модели. В настоящей работе предлагается подход, основанный на выделении статистически существенных признаков изображения (features) [7], на которых обучаются несколько классификаторов [8, 9]. Предлагаемый подход рассматривается на примере автоматической фиксации нарушений ПДД.

Постановка задачи

При автоматической фиксации нарушений ПДД создается фотофакт – кадр, снятый камерой наблюдения. Содержимое кадра подвергается автоматической обработке, в процессе которой в кадре находятся транспортные средства, знаки государственной регистрации (ГРЗ), анализируется положение автомобилей относительно дорожных знаков, линий разметки и т.д. В результате этого анализа принимается решение о наличии или отсутствии нарушения ПДД для каждого отдельного автомобиля в кадре. Фотофакт является одним из основных материалов, позволяющих выносить постановление об административном правонарушении. При этом к фотофактам предъявляется ряд дополнительных требований, отсутствующих в ПДД, например, «в кадре должно находиться не менее 60% автомобиля». Качественно это означает, что в область видимости должна попасть достаточно большая часть транспортного средства (ТС), которая, очевидно, зависит от ракурса съемки, размеров автомобиля и пр. Однако этот показатель не поддается формализации, в связи с чем возникает задача разработать классификатор ТС по неформальному признаку области видимости в кадре.

Разметка данных

Визуальный анализ большого числа кадров, предоставленных камерами наблюдения, позволил выявить несколько типичных ситуаций, представленных на следующих рисунках

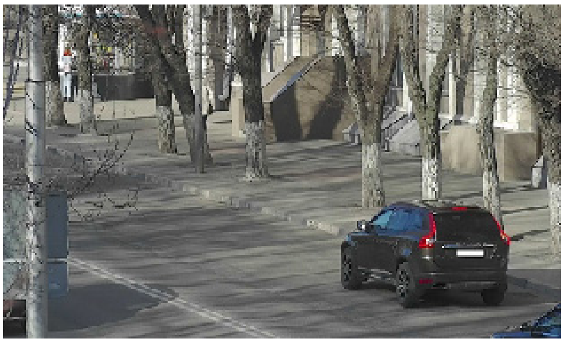


Рисунок 1. – Один автомобиль полностью в кадре; другой выходит за границу кадра

Рисунок 2. – Один автомобиль закрывает другой

Анализ рисунков 1–2 показывает, что всевозможные положения ТС в кадре сводятся к трем типам:

- ТС находится полностью в кадре;
- ТС выходит за границы кадра;
- ТС частично закрыто другим ТС, либо каким-либо предметом.

При этом второй и третий тип содержат как кадры, в которых видна незначительная часть автомобиля (рис. 1), так и кадры, в которых автомобиль виден почти полностью (рис. 2). Таким образом, приведенные типы не позволяют классифицировать ТС по области видимости в кадре, и требуется ручная разметка. Для этого была разработана программа визуализации и разметки на языке Python с использованием библиотеки tkinter. На следующем рисунке представлен скриншот программы разметки.

Программа для разметки данных предъявляет оператору кадры из заданного набора (рис. 3).

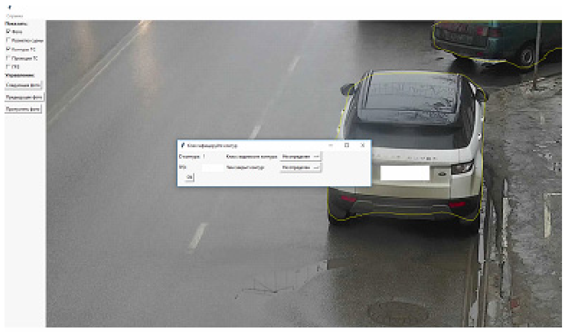


Рисунок 3. – Скриншот программы для разметки данных

В кадре желтым цветом показаны контуры автомобилей, найденные предварительно обученной нейросетью на базе архитектуры r-CNN. Оператору предлагается выбрать класс видимости каждого контура и (опционально) указать, чем именно закрыт контур: другим автомобилем, препятствием, границей кадра. Доступно два класса видимости контура:

- «контур виден не менее чем на 60%»;
- «контур виден менее чем на 60%».

При этом процент видимости автомобиля – неформализованный показатель, поэтому один и тот же контур может быть по-разному классифицирован разными операторами.

В результате работы нескольких операторов с помощью разработанной программы был получен набор из 700 кадров и классифицированных по области видимости контуров. Однако этот набор не является готовой обучающей выборкой, поскольку в ней отсутствуют признаки, на которых можно обучать классификатор.

Выделение существенных признаков

Каждому из размеченных кадров был сопоставлен набор данных, получаемых непосредственно от камеры и от различных систем обработки изображений. Эти данные включают в себя контуры автомобилей, распознанных в кадре, углы установки камеры и еще более 20 вычисляемых параметров. С помощью корреляционного анализа было установлено, какие из них являются наиболее существенными для неформализованного целевого показателя – класса видимости ТС. Ниже приведена корреляционная матрица некоторых вычисляемых параметров.

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

	pan	**zoom**	**number square**	**orientation angle**	**contour square**	**distance**	**contour class**
pan	1,00	0,18	0,27	0,22	0,33	0,06	-0,21
zoom	0,18	1,00	0,25	0,24	0,07	0,93	0,26
number square	0,27	0,25	1,00	0,25	0,61	-0,06	0,22
orientation angle	0,22	0,24	0,25	1,00	0,11	0,16	0,42
contour square	0,33	0,07	0,61	0,11	1,00	-0,14	-0,24
distance	0,06	0,93	-0,06	0,16	-0,14	1,00	0,32
contour class	-0,21	0,26	0,22	0,42	-0,24	0,32	1,00

Рисунок. 4. – Корреляционная матрица некоторых вычисляемых параметров

На рисунке 4 представлены следующие параметры:

- pan – угол поворота камеры в азимутальной плоскости;
- zoom – кратность оптического приближения;
- number square – площадь номерного знака;
- orientation angle – угол наклона номерного знака относительно верхней границы кадра;
- contour square – площадь контура ТС;
- distance – горизонтальная дальность от камеры до контура ТС;
- contour class – класс видимости ТС.

В корреляционной матрице, приведенной на рисунке 4, представлены только те параметры, у которых корреляция с целевым показателем по модулю больше 0,2. Эта величина была выбрана эмпирически.

Приведенные параметры хорошо формализованы, легко вычисляются и коррелируют с классом видимости контура, поэтому были использованы в качестве существенных признаков при обучении классификаторов.

Обучение моделей и композиция

Для решения поставленной задачи были применены три общеизвестных модели:

- нейросеть;
- дерево решений;
- случайный лес.

Примененный нейросетевой классификатор представляет собой простейшую полносвязную нейросеть с двумя скрытыми слоями и функцией активации ReLU:

$$F(x) = \max(0, x) ,$$

где x – текущее значение нейрона. Обучение проводилось методом градиентного спуска.

Дерево решений строилось методом CART с критерием Джини, ограничением по глубине 10 и представлено на следующем рисунке.

На рисунке 6 представлен фрагмент дерева классификации, полученный методом случайного леса.

Как видно из рисунков 5 и 6, классификационные деревья, полученные методом CART и случайным лесом, не совпадают. Это обусловлено стохастическим поведением случайного леса и позволяет использовать различные основанные на деревьях классификаторы в рамках одной модели.

Ответы, возвращаемые обученными классификаторами, помещались в массив, от которого вычислялась решающая функция – медиана. Итоговая модель представляет собой композицию вышеописанных классификаторов и решающей функции.

Результаты

Ниже на рисунках приведены примеры классификации разработанной моделью.

Флоринский Вяч. В., Флоринский Влад. В.
Донецкий национальный технический университет

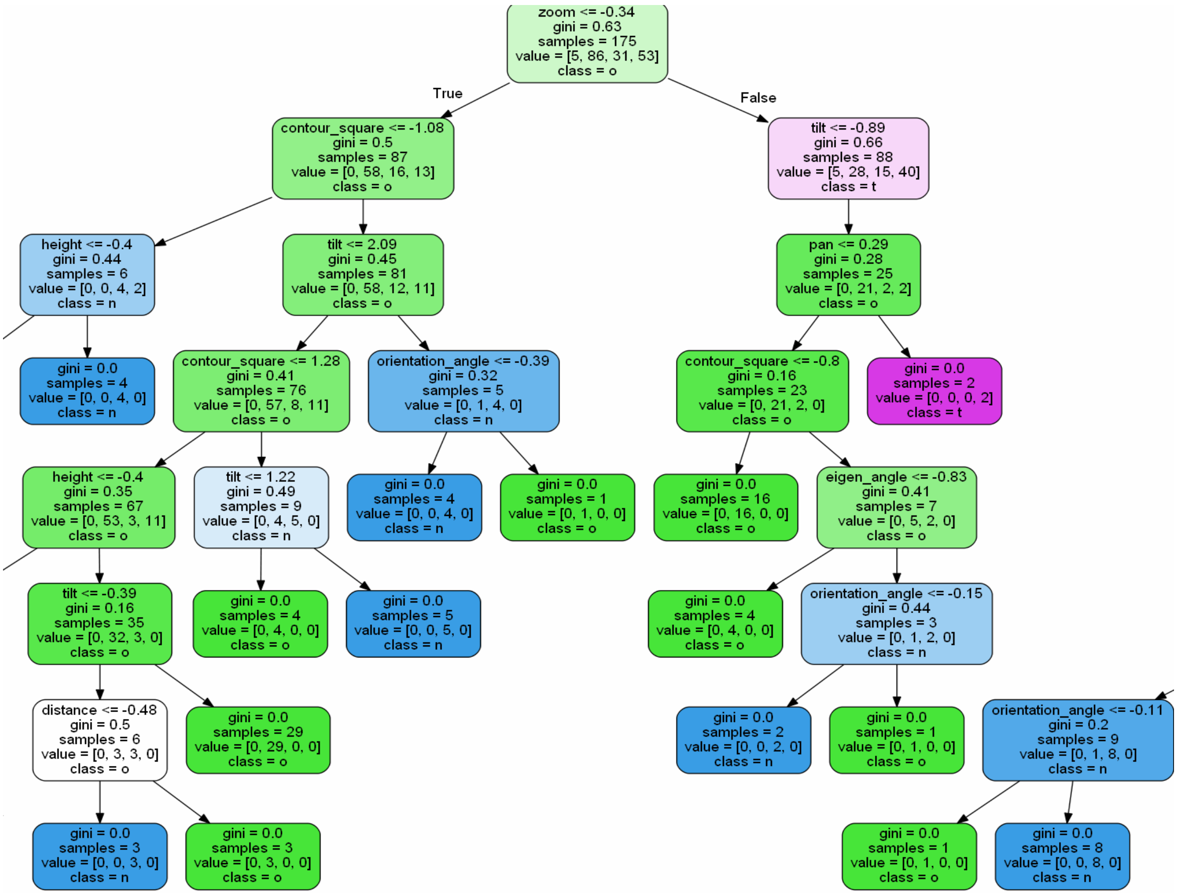


Рисунок 5. – Фрагмент дерева решений

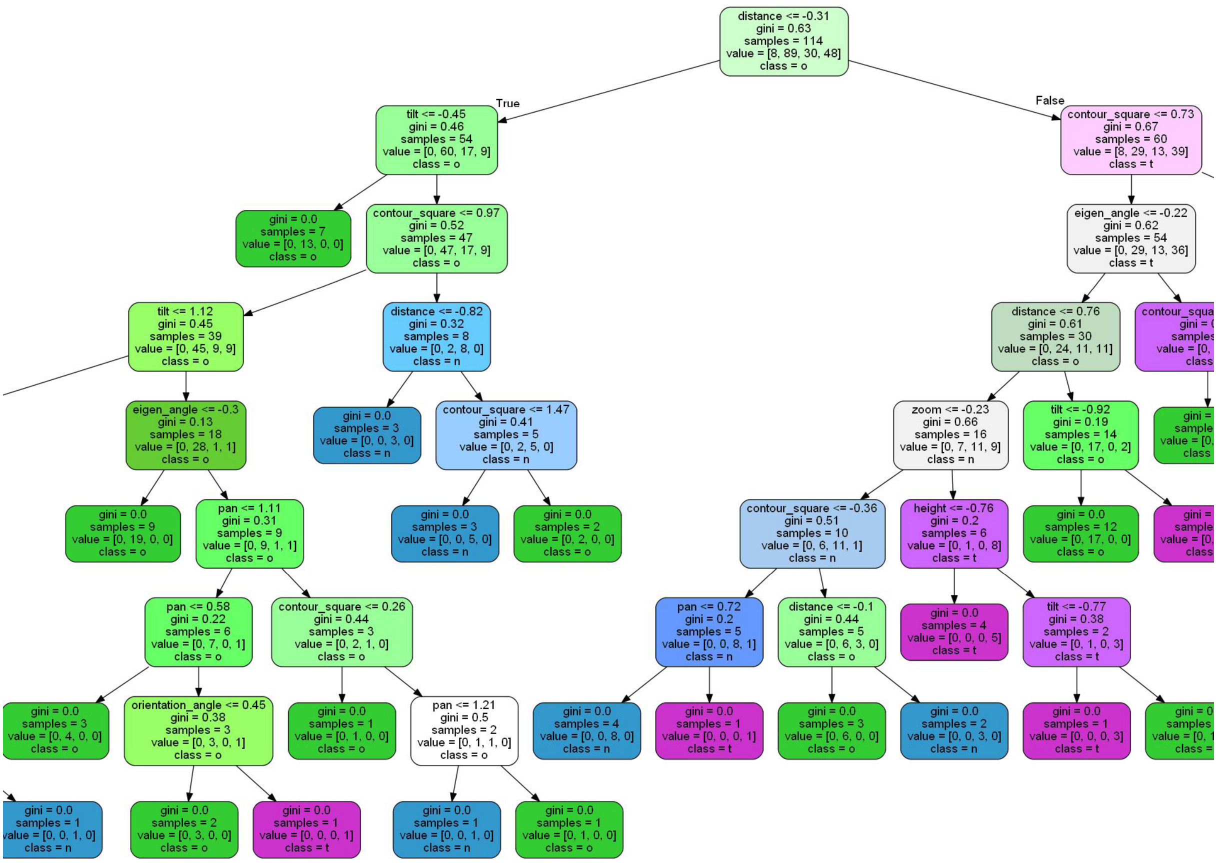


Рисунок 6. – Фрагмент дерева классификации, полученный методом случайного леса

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

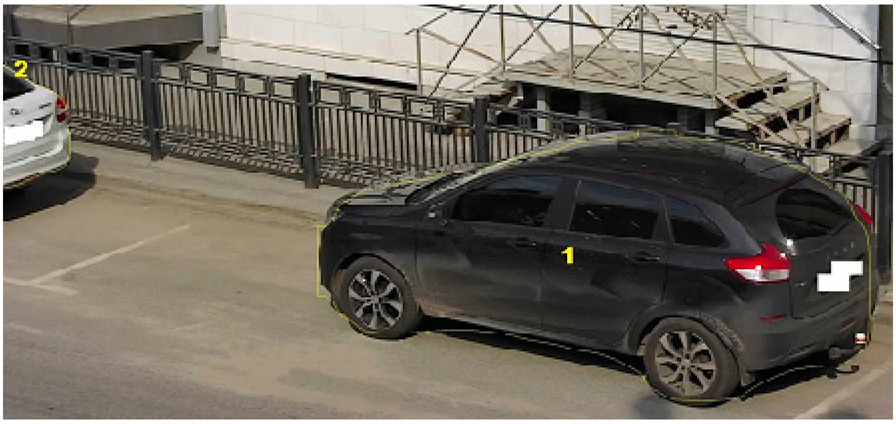


Рисунок 7. – Пример работы модели

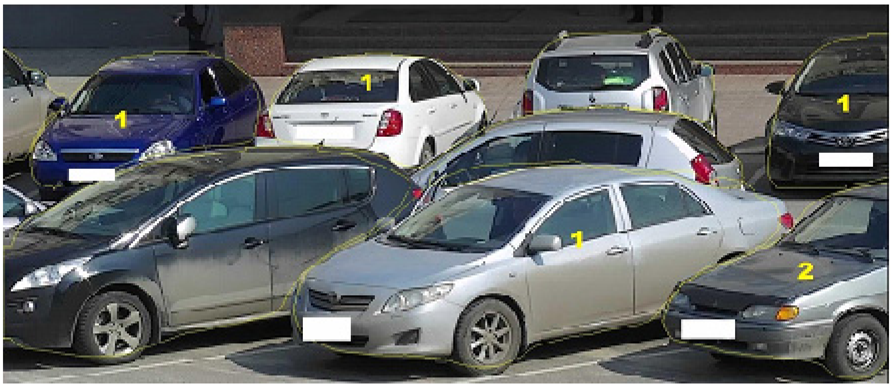


Рисунок 8. **–** Пример классификации ТС по области видимости в кадре

На рисунках 7 и 8 приведены примеры классификации ТС по области видимости в кадре с помощью разработанной модели. Желтым цветом выделены контуры ТС, распознанные нейросетью. Цифра внутри контура обозначает распознанный моделью класс контура: 1 – «в кадре находится не менее 60% ТС»; 2 – «в кадре находится менее 60% ТС». Для некоторых автомобилей класс видимости не указан (см. рис. 8), т.к. у них не виден номер. В этих случаях модель не может рассчитать один из существенных признаков класса (distance) – расстояние от камеры до автомобиля, которое оценивается по размеру ГРЗ. В целом на тестовой выборке из 300 кадров полученная точность классификации составляет 97%.

Таким образом, разработанная модель позволяет решать задачу классификации по неформализованному признаку с достаточно высокой точностью.

Список литературы

1. Васильев А.Н., Тархов Д.А. Принципы и техника нейросетевого моделирования. – М.: Вс. шк., 2014. – 218 с.
2. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с.
3. Головко В.Л. Нейронные сети: обучение, организация и применение / Под ред. А.И. Галушкина. Науч. сер. «Нейрокомпьютеры и их применение». Кн. 4. – М.: ИПРЖР, 2001. – 256 с.
4. Гелиг А.Х., Матвеев А.С. Введение в математическую теорию обучаемых распознающих систем и нейронных сетей. – М.: Издательство СПбГУ, 2014. – 224 с.
5. Редько В.Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики. – М.: СИНТЕГ, 2017. – 224 с.
6. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 384 с.
7. Николенко С., Кадурин А., Архангельская Е. Глубокое обучение. ДМК Пресс – СПб.: Питер, 2018. – 481 с.
8. Рышард Тадеусевич, Барбара Боровик, Томаш Гончаж, Бартош Леппер. Элементарное введение в технологию нейронных сетей с примерами программ / Перевод с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 408 с.
9. Галушкин А.И. Нейронные сети: основы теории. – М.: РиС, 2015. – 496 с.
10. Bohan Zhuang, Jing Liu, Mingkui Tan, Lingqiao Liu, Ian Reid, Chunhua Shen Effective Training of Convolutional Neural Networks with Low-bitwidth Weights and Activations https://arxiv.org/abs/1908.04680.

References (transliteration)

1. Vasil'ev A.N., Tarkhov A. Principy i tekhnika nejrosetevogo modelirovaniya [Principles and techniques of neural network modeling]. Moscow, vs. shk., 2014, 218 p. (in Russian).
2. Barskij A.B. Nejronnye seti: raspoznavanie, upravlenie, prinyatie reshenij [The neural netwo rks: recognition, management, decision-making].Moscow, Finansy I statistika, 2004, 176 p. (in Russian).
3. Golovko V.L. Nejronnye seti: obuchenie, organizaciya i primenenie [The neural networks: training, organization and application] / pod red. A.I. Galushkina. Nauchn. ser. "Nejrokomp'yutery i ih primenenie". Kn. 4. Moscow, IPRGP, 2001, 256 p. (in Russian).
4. Gelig A.H., Matveev A.S. Vvedenie v matematicheskuyu teoriyu obuchaemyh raspoznayuschih system i nejronnyh setej [The introduction to the mathematical theory of trainable recognition systems and neural networks]. Moscow, Izdatel'stvo SPbGU, 2014, 224 p. (in Russian).
5. Red'ko V.G. Evolyuciya, nejronnye seti, intellect: Modeli I koncepcii evolyucionnoj kibernetiki [The evolution, neural networks, intelligence: models and concepts of evolutionary Cybernetics]. Moscow, SINTEG, 2017, 224 p. (in Russian).
6. Rutkovskaya D., Pilin'skij M., Rutkovskij L. Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy [The neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems]. Moscow, Goryachaya liniya–Telekom, 2013, 384 p. (in Russian).
7. Nikolenko S., Kadurin A, Arkhangel'skaya E. Glubokoe obuchenie [Deep learning]. DMK Press. Saint-Petersburg, Piter, 2018, 481 p. (in Russian).
8. Ryshard Tadeusevich, Barbara Borovik, Tomash Gonchazh, Bartosh Lepper. Elementarnoe vvedenie v tekhnologiyu nejronnyh setej s primeneniem program [The elementary introduction to neural network technology with program examples]. Perevod s pol'sk. I.D. Rudinskogo. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom, 2011, 408 p.
9. Galushkin A.I. Nejronnye seti: osnovy teorii. [The neural networks: fundamentals of theory]. Moscow, RiS, 2015, 496 p. (in Russian).
10. Bohan Zhuang, Jing Liu, Mingkui Tan, Lingqiao Liu, Ian Reid, Chunhua Shen Effective Training of Convolutional Neural Networks with Low-bitwidth Weights and Activations https://arxiv.org/abs/1908.04680.

Флоринський Вяч. В., Флоринський Влад. В. «Композиція моделей машинного навчання на прикладі класифікації зображень за неформалізованою ознакою». *У запропонованій роботі розглянуто класифікацію зображень за неформальною ознакою зони видимості в кадрі на прикладі фотофіксації автомобілів. Представлена класифікація контуру автомобіля по області видимості в кадрі. За допомогою кореляційного аналізу встановлено, які параметри є найбільш істотними для неформалізованого цільового показника – класу видимості розглянутих об'єктів. Проведено аналіз даних, які одержувано від камер відеоспостереження, та виділено параметри, які добре формалізовані, легко обчислюються, корелюють з класом видимості контуру й використовуються при навчанні класифікатора. Використано три загальновідомі моделі: нейромережа, дерево рішень, випадковий ліс. Розроблена модель дозволяє вирішувати задачу класифікації за формалізованою ознакою з досить високою точністю.*

Ключові слова: аналіз даних, класифікатори, нейромережі, машинне навчання.

Florinsky Vyach., Florinsky Vlad. "Composition of machine learning models using the example of classifying images according to an informal basis". *In the proposed work, the classification of images by an informal attribute of the field of view in the frame is considered using the example of photofixing cars. The classification of the car contours by visibility in the frame is presented. Using correlation analysis, it is established which parameters are most important for the informal target indicator – the object visibility class. The analysis of the data received from the surveillance cameras is made, and the parameters that are well formalized, easy to calculate, correlate with the class of visibility of the contour and used to train the classifier are highlighted. Three well-known models were used: neural network, decision tree, random forest. The developed model allows us to solve the problem of classification according to an unformalized attribute with fairly high accuracy.*

Key words: data science, classifiers, neural networks, machine learning.

Статья поступила в редакцию 14.11.2018
Рекомендована к публикации канд. физ.-мат. наук О.В. Голубевой

Ссылка для цитирования статьи
For citation

Флоринский Вяч. В., Флоринский Влад. В. Композиция моделей машинного обучения на примере классификации изображений по неформализованному признаку // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(14)–2(15). 2018. – С. 118–123.

Florinsky Vyach.B., Florinsky Vlad.B. 2018. Composition of machine learning models using the example of classifying images according to an informal basis. *System analysis and information technology in environmental and social sciences*, no.1(14)–2(15): 118–123. (in Russian).

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

Раздел 3

Актуальные вопросы математики

УДК 536.1:514.8

Geometric approach for the solution of the differential equation of condition of ideal gas

Averin G.V.[1], Shevtsova M.V.[2]
[1]Белгородский государственный национальный исследовательский университет
[2]Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
averin.gennadiy@gmail.com, mashashev81@gmail.ru

Averin G.V., Shevtsova M.V. "Geometric approach for the solution of the equation of condition of ideal gas". *Nowdays we have several problems in classical thermodynamics. The first is connected with the concept of irreversibility. The essence of this concept is not clear yet. The second issue is related to the place of time in classical thermodynamics. It is difficult to present existence of equilibrium processes. Model of ideal gas is simple and allows geometric interpretation of the basic concepts and ratios in three-dimensional space. In this article problem of a wording of thermodynamic provisions and ratios for spaces of ideal gas conditions is considered on the basis of analysis of solutions of partial differential equations of the first order. Geometric presentation of the received integrated surfaces is executed. The connection between physical content of thermodynamic sizes (temperature, entropy, energy) and their mathematical analogs is established. The offered approach allows to give simple geometric interpretation of basic provisions and ratios of classical thermodynamics.*

Keywords: ideal gas, provisions and ratios of thermodynamics, geometric interpretation.

Introduction

The classical thermodynamics is a theoretical basis for many physical sciences. However, despite thoroughness, the theory of thermodynamics is not full, its many aspects are contradictory and tangled, a number of provisions has no logical clarity. Axiomatic creation of thermodynamics, despite many works in this area [1–10], is not completed. The problem of entropy and development of various systems of justification of its existence is connected with thermodynamic axiomatics. The fact of existence of entropy as one of basic provisions in thermodynamics, the fundamental principle of its increase and communication of entropy with irreversibility of processes in the nature are not completely studied. The available experimental data is not enough. Nowdays the essence of irreversibility is not a solved problem in thermodynamics.

The second problem is connected with the fact that operating with thermodynamic processes which proceed in time, the classical thermodynamics does not give the answer to a question what is the place of time in the theory. The number of authors notes that thermodynamics in essence is a thermostatics. Time and irreversibility of processes are very difficult questions of thermodynamics. Most likely, time exception paradox in ratios of classical thermodynamics is connected with a concept of equilibrium (infinitely slow) process. However, the set of experimental justifications in thermodynamics is not connected at all with implementation very slow (equilibrium, quasistatic) processes [11]. It is very difficult to present existence of the equilibrium processes connected with melting of substances simple friction (Davy's experiences), equilibrium processes in experiences of Joule with the falling freight or in experiments on a pilot study of adiabatic processes (for example, Clément's experiences, Lyummer, Partington, etc.).

It is impossible to claim that the entity of a problem of irreversibility is determined by a slow or rapid current of process. However, the hypothesis that irreversibility is connected with features and patterns of development of thermodynamic processes in time has the right for existence. Therefore, this problem can be studied only at entering of time parameter to the equations of classical thermodynamics.

To understand the issues stated above, let's address to a concept of ideal gas. The model of ideal gas is extremely important in thermodynamics as this gas is a reference object for development of scales of thermometers and for the procedures of comparison of states of various substances with conditions of ideal gas upon measurement of temperature. Also this model is rather simple and evident and allows geometric interpretation of the basic concepts and ratios in three-dimensional space. However, the analysis of references is showed that the works devoted to disclosure of geometric sense and interpretation of thermodynamic sizes, ratios and laws are not enough. This direction of researches is affected most of all in K. Caratheodory [6], Falk and Jung [10] and Mlodzeevsky's works [12]. There is no fair and evident idea about connection between thermodynamic processes and objects and geometrical structures and the relations yet. Proceeding from this, there are no obvious analogies between the physical maintenance of thermodynamic values (temperature, heat, entropy, energy, etc.) and their mathematical models.

In works of authors [13, 14] attempts of application of methods and means of differential geometry at justification of models of thermodynamic conditions, processes, ratios and regularities were made earlier. In our opinion, perspective approach in the solution of this task lies in the analysis of solutions of partial differential equations of the first order and differential Pfaff forms which are the basis for the theory of thermodynamics.

So, the purpose of this article is establishment of communication between the physical maintenance of the main thermodynamic values and their models on the basis of application of methods and means of differential geometry. It will allow to give geometric interpretation to basic provisions and ratios of classical thermodynamics. The research of this task at the description of processes in time is possible both by the analytical solution of the differential equations of thermodynamics, and the application of methods and means of calculus mathematics.

Problem definition

The thermodynamic system usually refers to a set of macroscopic bodies and fields of the physical nature, which represents a complete object and interact as among themselves and with the environment. At the same time the condition of a system is defined as a set of its thermodynamic properties which parameters are formed under the influence of environmental conditions in particular timepoint. It means for ideal gas that each its state is unambiguously defined by values of specific volume v and pressure p. Let's assume that at commission in time of any process l parameters of a condition of ideal gas can be presented by the parametrical equations concerning time τ: $\upsilon = \upsilon(\tau)$ and $p = p(\tau)$.

Experimentally established law of energy conservation for thermodynamics is that basic position on which all its theory mathematical apparatus is formulated. To enter time into the equations of thermodynamics it is necessary to use other concepts and provisions. Let's use for this purpose the skilled fact of temperature existence. In thermodynamics for a definition of temperature concept the property of transitivity of thermodynamic balance is usually used.

This empirical provision for a certain ideal gas is presented in the form of the fact of existence of the thermal equation of a condition for temperature $T = T(p, \upsilon)$. It is confirmed by experimental data. At the same time temperature T is called the measure of a deviation of a condition of the studied thermodynamic system from a condition of thermal balance of a reference body in the standardized conditions. The corresponding reference body is called the thermometer. Depending on what reference body is accepted as the thermometer, different scales of empirical temperatures are distinguished. At the same time the ideal gas scale represents a special form of a measuring temperature scale. Synthesis of the experimental data of thermometry led to a fundamental statement that for any physical system there is always a state equation in the form of dependence between temperature and other parameters characterizing a condition of this system.

The next skilled fact is existence of a concept of amount of heat and thermal capacities. Amount of heat Q is the physical quantity characterizing process of heat exchange between a thermodynamic system and the environment. Thermal capacity c_l is entered in physics as a special type of value which is one of thermal characteristics of substance. There is a set of methods of determination of thermal capacities of gases, solids and liquids in experience [11]. The equation determining the amount of heat in process which is necessary for temperature change of a body is usually presented concerning temperature and thermal capacity of a body in the form:

$$c_l = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_l . \qquad (1)$$

This equation shows features of interaction of a thermodynamic system with the environment. And these features are defined both by a condition of a system and the direction of thermodynamic process l in interaction of a system with the environment.

Thus, proceeding from the experimental data, it is possible to claim that the amount of heat and temperature are connected with pressure and specific volume of ideal gas. So, the condition of ideal gas and any process of its state changing are defined unambiguously by these parameters under an additional condition. This condition is imposed by the equation of condition $T = T(p, \upsilon)$ describing thermodynamic properties of particular ideal gas.

Let's construct on the plane of Cartesian coordinates the geometric system in the form of the space of condition of ideal gas where coordinate axes correspond to independent variables v and p. As between values Q and T in any process there is a communication (1), ratios will be correct:

$$\frac{\partial Q}{\partial \upsilon} = c_p \frac{\partial T}{\partial \upsilon} \text{ and } \frac{\partial Q}{\partial p} = c_\upsilon \frac{\partial T}{\partial p}, \qquad (2)$$

where c_p and c_υ are thermal capacity of ideal gas with a constant pressure and constant volume respectively.

According to Klapeyron's equation $T = p\upsilon / R_i$ temperature has a look of uniform function of the second degree. It is known that the uniform function of the second degree having private derivatives satisfies to Euler's formula:

$$T = \frac{1}{2}\left(\upsilon \frac{\partial T}{\partial \upsilon} + p \frac{\partial T}{\partial p}\right). \qquad (3)$$

Taking into account ratios (1) this equation can be presented in the form of the linear non-uniform partial equation of the first order concerning value Q:

$$\frac{\upsilon}{2c_p}\frac{\partial Q}{\partial \upsilon}+\frac{p}{2c_\upsilon}\frac{\partial Q}{\partial p}=T\,. \qquad (4)$$

The solution $Q=Q(\upsilon,p)$ for the equation (4) geometrically represents a surface in three-dimensional space (υ,p,Q) which is called an integrated surface. For obtaining the solution of this equation let's use method of characteristics which are defined by the system of the ordinary differential equations [15]:

$$2c_p\frac{d\upsilon}{\upsilon}=2c_\upsilon\frac{dp}{p}=\frac{dQ}{T}=ds\,, \qquad (5)$$

where s is any real parameter. If we will determine parameter s as the arch length changing along a characteristic curve, the equations (5) will take a form:

$$\frac{d\upsilon}{ds}=\frac{\upsilon}{2c_p}\,;\quad \frac{dp}{ds}=\frac{p}{2c_\upsilon}\,;\quad \frac{dQ}{ds}=\frac{p\upsilon}{R_i}=T\,. \qquad (6)$$

From the first two equations (5) the dependence for the value ds turns out. It has a form of known thermodynamic equation used in definition of entropy of ideal gas:

$$ds=\frac{dQ}{T}=c_p\frac{d\upsilon}{\upsilon}+c_\upsilon\frac{dp}{p}\,;$$

$$s-s_0=c_p\ln\frac{\upsilon}{\upsilon_0}+c_\upsilon\ln\frac{p}{p_0}\,. \qquad (7)$$

Thus, in geometric representation the entropy is arch length for the characteristic curves corresponding to the field of the directions which is defined by the system of the equations (5). From the theory it is also known [15] that the integrated solution $Q=Q(\upsilon,p)$ of the equation (4) can be covered with collection of characteristics. And any characteristic curve determined by the equations (5) and having the common point with the integrated surface entirely lies on this surface.

The integrated solution of the equation (4) can be found in an analytical way. Cauchy problem for this equation is connected with finding of the integrated surface $Q=Q(\upsilon,p)$ passing through the set curve of any process l which can be presented in a parametrical form concerning time τ:

$$\upsilon_l=\upsilon_l(\tau);\quad p_l=p_l(\tau);\quad Q_l=Q_l(\tau)\,.$$

The general solution of a system of the equations (5) concerning entropy has a look:

$$\upsilon=\upsilon_l\exp\left(\frac{s}{2c_p}\right);\quad p=p_l\exp\left(\frac{s}{2c_\upsilon}\right);$$

$$Q=Q_l+c_p\beta_1\frac{p_l\upsilon_l}{R_i}\left(\exp\left(\frac{s}{c_p\beta_1}\right)-1\right);$$

$$\beta_1=\frac{2c_\upsilon}{c_p+c_\upsilon}\,. \qquad (8)$$

For receiving the integrated surface in three-dimensional space (υ,p,Q) we set parametrically a curve of process l and exclude values s and τ [15].

Let's assume that process of l is isobaric, and the line of process l, through which the integrated surface has to pass, is set by the parametrical equations concerning time τ:

$$\upsilon_l=\upsilon_l+\alpha_\upsilon\tau\,;\quad p_l=p_1\,;$$

$$Q=c_pT_l=c_p\frac{(\upsilon_l+\alpha_\upsilon\tau)p_1}{R_i}\,, \qquad (9)$$

where υ_l, p_l – thermodynamic parameters of gas in some initial point where τ=0.

Having substituted (9) in (8) we will receive:

$$\upsilon=(\upsilon_1+\alpha_\upsilon\tau)\exp\left(\frac{s}{2c_p}\right);\quad p=p_1\exp\left(\frac{s}{2c_\upsilon}\right);$$

$$Q=c_p\frac{p_1(\upsilon_1+\alpha_\upsilon\tau)}{R_i}\left(\beta_2+\beta_1\exp\left(\frac{s}{c_p\beta_1}\right)\right),$$

$$\beta_2=\frac{c_p-c_\upsilon}{c_p+c_\upsilon}\,. \qquad (10)$$

It is possible to show that the determinant $\Delta=\upsilon'_s p'_\tau-\upsilon'_\tau p'_s$ does not equal to zero at s=0 and $\tau\neq 0$ [15]. Excluding values s and τ, we receive the equation of the integrated surface in a look:

$$Q=c_p\frac{p\upsilon}{R_i}\left(\beta_1+\beta_2\left(\frac{p}{p_1}\right)^{-\frac{k+1}{k}}\right), \qquad (11)$$

$k=c_p/c_\upsilon$ – adiabatic curve indicator.

Similar results can be received by numerical methods, using means of computational mathematics. It is necessary to notice that the modern systems of computer mathematics allow to solve the partial differential equation and to construct the surface which is geometrically submitting this decision and passing through the certain line of process by only one procedure.

Let's assume that condition of hydrogen in initial timepoint has parameters – pressure $p_1=101325$ Pa and specific volume $\upsilon_1=11{,}12720$ m^3/kg. Let at expansion in isobaric thermodynamic process during 100 sec. specific volume increased to $\upsilon_2=15{,}20087$ m^3/kg. At the same time temperature have changed from $T_1=273{,}15$ K to $T_2=373{,}15$ K.

At this isobaric process the line of process l through which the integrated surface passes is set by the parametric equations:

$$\upsilon=11{,}12720+\alpha_\upsilon\tau\,;\quad p=101325\,;$$

$$Q=c_p\cdot\frac{p(11{,}12720+\alpha_\upsilon\tau)}{R_i}\,,$$

where $c_p=14{,}270$ kG/(kg·K) for hydrogen.

Considering that process lasts 100 sec., it is possible to calculate value $\alpha_\upsilon=0{,}04074$ m^3/(kg·s).

Substituting the received value in a formula for volume we completely set a curve in parametric form. Then we construct the integrated surface which is the solution of the equation (4), using the system of computer mathematics Maple (Fig. 1).

```
>p1 := 101325; t1 := 273.15; v1 := 11.12720; v2 := 15.20087; av := (v2-v1)*(1/100); R := 4157; cp := 14.3262; cv := 10.08;
```

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

```
>PDEplot(p*(diff(Q(p, v), p))/cp+v*(diff(Q(p, v), v))/cv-2*p*v/R = 0, Q(p, v), [p1, av*t+v1, cp*p1*(av*t+v1)/R], t = 0 .. 100, color = p^2+2*v, style = PATCHCONTOUR);
```

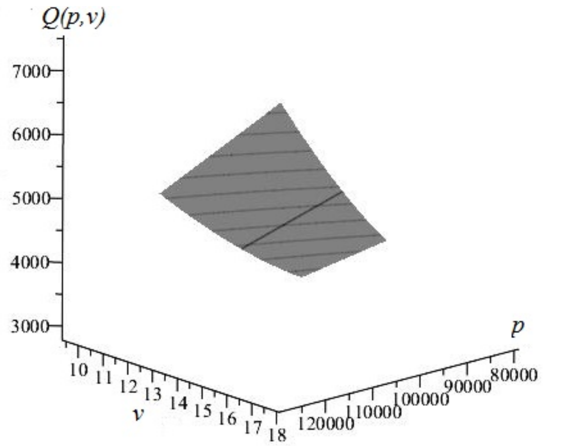


Fig 1. – Integrated surface for amount of heat at isobaric process of expansion of hydrogen

Thus, on the basis of solutions of partial differential equations of the first order it is possible to describe changes in time of conditions of ideal gas at thermodynamic processes.

Geometric interpretation of thermodynamic values

It is known that integrated surfaces of the quasilinear equation (4) can be covered with the collection of characteristics which are defined by equations (5). In other words: through each point of integrated surface the characteristic, entirely lying in it, passes. The functions

$$f_1 = \frac{\upsilon}{2c_p}, \quad f_2 = \frac{p}{2c_\upsilon}, \quad f_2 = T$$

in the equation (4) define a field of the directions in space (υ, p, Q) where in each point of this space there is a direction which directional cosines are proportional to f_1, f_2, f_3. Thus, the equation (4) resolves itself into requirement that in each point of integrated surface $Q = Q(\upsilon, p)$ vector determined by the field of the directions stated above have to be in the tangent plane to this surface [15].

Let process l in space (υ, p, Q) is set in parametrical form (8). Let's put l_0 a projection of curve l on the $\upsilon 0 p$ plane. Then for the equation (4) Cauchy problem is formulated in a form: to find the integrated surface of the equation (4) passing through the set curve l in the neighborhood of projection l_0. Geometric interpretation of Cauchy problem assumes that in space (υ, p, Q) through each point of process l it is necessary to carry out characteristic of the equation (4) and "to stick together" from them an integrated surface.

On the $\upsilon 0 p$ plane it looks as follows (fig. 2, a). There is a projection of process l_0 from the beginning at point $A_0(\upsilon_1, p_1)$ and the end at point $B_0(\upsilon_2, p_2)$. Through points A_0 and B_0 characteristics 1, isotherms 2 and adiabatic curves 3 pass. The collection of characteristics is described by the equation $p = C\upsilon^k$, proceeding from the first integral of a system (5), collection of isotherms – by the equation $p\upsilon = C$. In turn, the collection of adiabatic curves is described by the equation $p\upsilon^k = C$. The entropy (7) in such representation will be characteristic's arc length, and adiabatic curves will represent lines of level for characteristics at *s=const*. Adiabatic curves, isotherms and characteristics in pairs form some network of curvilinear not orthogonal coordinates on the $\upsilon 0 p$ plane.

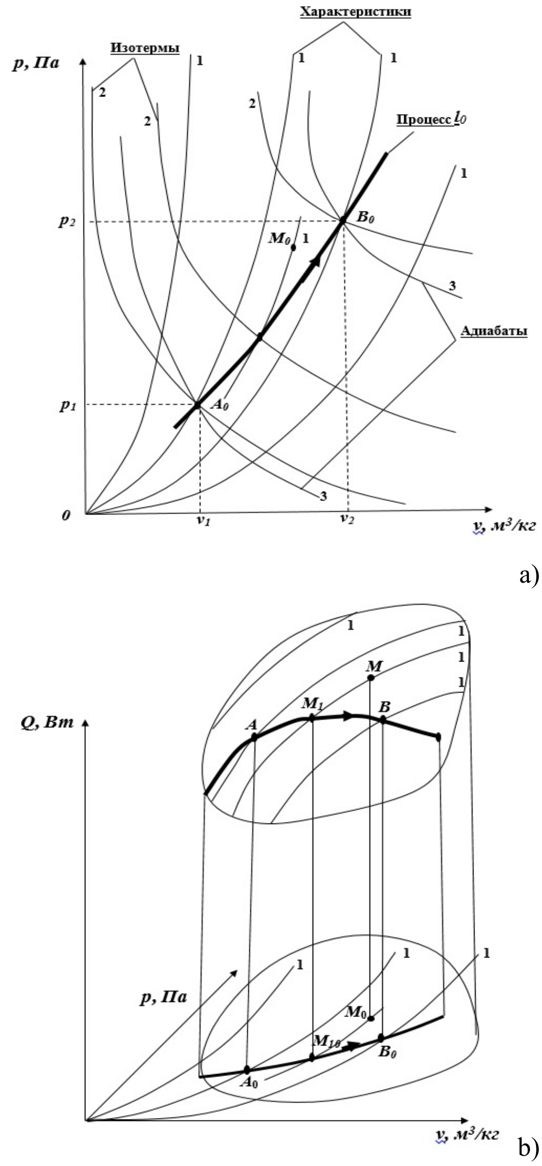


Fig. 2. Geometric interpretation of Cauchy's problem for equation (4):
а – on $\upsilon 0 p$ plane; *б* – in (υ, p, Q) space

The geometric solution of Cauchy problem in (υ, p, Q) space is constructed as follows. Through any point M_0 on $\upsilon 0 p$ plane characteristic is carried out until its crossing with process l_0. After that it is necessary to put $Q = Q_l(\tau)$ taking into account the parametrical equations of process l (fig. 2, b). The integrated surface $Q = Q_l(\upsilon, p)$ will characterize amount of heat for all set of conditions of ideal gas in the neighborhood of process l or its projection l_0.

In space (υ, p, Q) it is possible to construct a surface of energy $u = u(\upsilon, p)$ for conditions of ideal gas, using for this purpose the equation $u = c_p T = c_p \dfrac{p\upsilon}{R_i}$. Then for any process dl change of amount of heat can be presented in a differential form like the sum of two functions $dQ = du + F(p, \upsilon)$. This ratio will have an appearance of energy conservation equation. At the same time a problem of definition of function $F = (p, \upsilon)$ is arised which can be solved by means of computational mathematics. It will allow to establish provisions under which the differential form $dQ = du + F(p, \upsilon)$ can have the known appearance of energy conservation equation $dQ = du + pd\upsilon$.

Conclusions

The offered approach gives the chance to carry out geometric interpretation of basic provisions and ratios of thermodynamics as Cauchy problem for partial quasilinear differential equations of the first order has the evident geometric image in multidimensional spaces of conditions. It allows to give a mathematical definition for entropy and to present it as an arc length of characteristic of the equation (4). In turn, time and entropy describe states and processes of change of conditions of ideal gas in parametrical form. Presentation of these physical values as parameters gives a chance to enter time into the equations of classical thermodynamics and to give simple geometric interpretation to its basic provisions.

References

1. Гухман А.А. Об основаниях термодинамики, 1986. – М.: Энергоатомиздат, 383 с.
2. Афанасьева-Эренфест Т.А. Необратимость, односторонность и второе начало термодинамики // Прикладная физика, Т. 5, вып. 3–4, 1928 – С. 3–28.
3. Франкфурт У. К истории аксиоматики термодинамики. В кн.: Развитие совр. физики: Пер. с нем. 1964. – М.: Наука. – С. 257–292.
4. Петров Н., Бранков Й. Современные проблемы термодинамики, 1986. – М.: Мир, 285 с.
5. Борн М. Критические замечания по поводу традиционного изложения термодинамики. В кн.: Развитие современной физики: Пер. с нем. 1964. – М.: Наука. – С. 223–256.
6. Каратеодори К. Об основаниях термодинамики. В кн.: Развитие современной физики: Пер. с нем. 1964. – М.: Наука. – С. 188–222.
7. Gyarmati I. 1962. On the Fundamentals of Thermodynamics. *Acta Chimica Hungaricae,* 30: 147–206.
8. Landsberg P.T. 1970. Main Ideas in the Axiomatics of Thermodynamics. *Pure and Applied Chemistry*, 22: 215–227.
9. Lieb E. H., Yngvason J. 1999. The physics and mathematics of the second law of thermodynamics. *Physics Reports*, Vol. 310, no.1, Elsevier: 1–96.
10. Falk G. and Jung H. 1959. Axiomatik der Thermodynamik. *Handbook of Physics*, Vol. III/2, Springer, Berlin: 119–175.
11. Робертс Д. Теплота и термодинамика. 1950. Пер. с англ. под ред. Вукаловича М.П. – М.: изд. технико-теор. лит-ры. – 592 с.
12. Млодзеевский А.Б. Геометрическая термодинамика, 1956. – М.: МГУ, 94 с.
13. Аверин Г.В. Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с.
14. Шевцова М.В., Аверин Г.В., Звягинцева А.В. К вопросу обоснования положений термодинамики методами дифференциальной геометрии многомерных пространств // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Математика. Физика. 2016. №27(248), вып. 45. – С. 36–44.
15. Кошляков И.С. Уравнения в частных производных математической физики. 1970. – М.: Вщ. шк. – 712 с.

References (transliteration)

1. Guhman A.A. Ob osnovanijah termodinamiki [About the thermodynamics bases]. 1986. Moscow, Jenergoatomizdat, 383 p. (in Russian).
2. Afanas'eva-Jerenfest T.A. 1928. Neobratimost', odnostoronnost' i vtoroe nachalo termodinamiki [Irreversibility, unilaterality and second law of thermodynamics]. *Prikladnaja fizika*, Vol. 5, Issue 3–4: 3–28 (in Russian).
3. Frankfurt U. 1964. K istorii aksiomatiki termodinamiki. V kn.: Razvitie sovr. Fiziki [About thermodynamics axiomatic history. In book: Development of modern physics]: Per. s nem. Moscow, Nauka: 257–29. (in Russian).
4. Petrov N., Brankov J. 1986. Sovremennye problemy termodinamiki [Modern problems of thermodynamics]. Moscow, Mir, 285 p. (in Russian).
5. Born M. Kriticheskie zamechanija po povodu tradicionnogo izlozhenija termodinamiki. V kn.: Razvitie sovremennoj fiziki [Critical remarks concerning a traditional statement of thermodynamics. In book: Development of modern physics]: Per. s nem. 1964. Moscow, Nauka: 223–256 (in Russian).

6. Karateodori K. Ob osnovah termodinamiki. V kn.: Razvitie sovremennoj fiziki [About fundamentals of thermodynamics. In book: Development of modern physics]: Per. s nem. 1964. Moscow, Nauka: 188–222 (in Russian).
7. Gyarmati I. 1962. On the Fundamentals of Thermodynamics. *Acta Chimica Hungaricae*, 30: 147–206.
8. Landsberg P.T. Main Ideas in the Axiomatics of Thermodynamics. 1970. *Pure and Applied Chemistry*, 22: 215–227.
9. Lieb E.H., Yngvason J. 1999. The physics and mathematics of the second law of thermodynamics. *Physics Report*s, Vol. 310, no.1, Elsevier: 1–96.
10. Falk G. and Jung H. 1959. Axiomatik der Thermodynamik. Handbook of Physics, Vol. III/2, Springer, Berlin: 119–175.
11. Roberts D. Teplota i termodinamika [Heat and thermodynamics]. 1950. Per. s angl. pod red. Vukalovicha M.P. Moscow, izd. tehniko-teor. lit-ry, 592 p. (in Russian).
12. Mlodzeevskij A.B. Geometricheskaja termodinamika [Geometrical thermodynamics]. Moscow, MGU, 1956, 94 p. (in Russian).
13. Averin G.V. Sistemodinamika [Systemdynamics]. Donetsk, Donbass, 2014, 405 p. (in Russian).
14. Shevtsova M.V., Averin G.V., Zviagintseva A.V. K voprosu obosnovaniya polojeniy termodinamiki metodami differentsialnoy geometrii mnogomernyih prostranstv [About justification of provisions of thermodynamics by methods of differential geometry of multidimentional spaces]. *Nauchnyie vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Matematika. Fizika*, 2016. no. 27(248), Issue 45: 36–44 (in Russian).
15. Koshlyakov I.S. Uravneniya v chastnyih proizvodnyih matematicheskoy fiziki [Partial Differential Equations of Mathematical Physics]. 1970. Moscow, Vischa shkola, 712 p. (in Russian).

Аверин Г.В., Шевцова М.В. «Геометрический подход в решении дифференциального уравнения состояния идеального газа». *В настоящее время в классической термодинамике существует ряд проблем. Первая связана с понятием необратимости. Сущность этого понятия пока не ясна. Второй вопрос связан с местом времени в классической термодинамике, поскольку трудно представить существование равновесных процессов. Модель идеального газа проста и позволяет геометрически интерпретировать основные понятия и соотношения в трехмерном пространстве. В данной статье рассматривается проблема формулировки термодинамических положений и соотношений для пространств состояния идеального газа на основе анализа решений дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка. Выполнено геометрическое представление полученных интегральных поверхностей. Установлена связь между физическим содержанием термодинамических величин (температура, энтропия, энергия) и их математическими аналогами. Предложенный подход позволяет дать простую геометрическую интерпретацию основных положений и соотношений классической термодинамики.*

Ключевые слова: идеальный газ, положения и соотношения термодинамики, геометрическая интерпретация.

Аверін Г.В., Шевцова М.В. «Геометричний підхід у вирішенні диференціального рівняння стану ідеального газу». *Нині у класичній термодинаміці є кілька проблем. Перша пов'язана з поняттям незворотності. Суть цієї концепції поки є незрозумілою. Друге питання пов'язане з місцем часу в класичній термодинаміці. Важко представити існування рівноважних процесів. Модель ідеального газу проста й дозволяє геометрично тлумачити основні поняття та співвідношення в тривимірному просторі. Розглянуто проблему формулювання термодинамічних положень та співвідношень для просторів умов ідеального газу на основі аналізу рішень диференціальних рівнянь в приватних похідних першого порядку. Виконано геометричне представлення отриманих інтегральних поверхонь. Встановлено зв'язок між фізичним змістом термодинамічних розмірів (температура, ентропія, енергія) та їхніми математичними аналогами. Запропонований підхід дає просту геометричну інтерпретацію основних положень та співвідношень класичної термодинаміки.*

Ключові слова: ідеальний газ, положення та співвідношення термодинаміки, геометрична інтерпретація.

Статья поступила в редакцию 15.10.2018
Рекомендована к публикации канд. физ.-мат. наук Г.Т. Климко

Ссылка для цитирования статьи

For citation

Аверин Г.В., Шевцова М.В. Геометрический подход в решении дифференциального уравнения состояния идеального газа // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(14)–2(15). 2018. – С. 125–130.

Averin G.V., Shevtsova M.V. 2018. Geometric approach for the solution of the equation of condition of ideal gas. *System analysis and information technology in environmental and social sciences,* no.1(14)–2(15): 125–130. (in Russian).

ISSN 2411-720X (Print) СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ №1(14)-2(15)'2018
ISSN 2413-0834 (Online) В НАУКАХ О ПРИРОДЕ И ОБЩЕСТВЕ

УДК 519.6 (075.8)

Метод Зейделя, направления наилучшей сходимости

Беловодский В.Н., Климко Г.Т.
Донецкий национальный технический университет
v.belovodskiy@gmail.com

Беловодский В.Н., Климко Г.Т. «Метод Зейделя, направления наилучшей сходимости». *Ранее, на примере системы двух уравнений авторами было замечено, что одна из итерационных процедур решения систем линейных уравнений, основанная на методе Зейделя, при выбранных определенным образом начальных условиях сходится за один шаг. В настоящей статье это явление обсуждается и обобщается для систем произвольной размерности. Рассматривается система вида* $Ax = b$*, путем известных преобразований приводится к нормальному виду* $x = Bx + d$*, при предположении диагональности канонической формы матрицы* B*, формируется итерационная последовательность и устанавливается зависимость ее* n*-го члена от начального приближения системы. На основе полученных соотношений, в зависимости от порядка кратности нулевого собственного значения матрицы* B*, устанавливается существование прямой или плоскостей наилучшей сходимости. Приводимые примеры выполнены в среде Mathcad и иллюстрирует полученные результаты. В одном из них при традиционно выбираемом нулевом начальном приближении решение системы с точностью до четырех десятичных знаков после запятой удается получить за 9609 итераций, при выборе начального приближения на линии наилучшей сходимости – всего за одну.*

Ключевые слова: система линейных уравнений, метод Зейделя, сходимость, матрица, собственное значение, каноническая форма, итерация.

Введение

Более десяти лет назад при изложении итерационных методов решения систем линейных алгебраических уравнений в курсе численных методов один из авторов обратил внимание студентов на вероятную возможность влияния начального приближения на число итераций, необходимых для получения решения системы линейных уравнений с заданной точностью. Один из присутствующих в аудитории ребят на примере системы двух уравнений провел вычислительные експерименты для метода Зейделя, варьируя начальные условия в заданной прямоугольной области начальных условий, и вскрыл возможность получения решения за одну итерацию при выбранных, определенным образом, начальных условиях, которые, вообще говоря, могут быть весьма далеки от решения. Построенная, по результатам исследования, иллюстрация приводится на рисунке 1 [1].

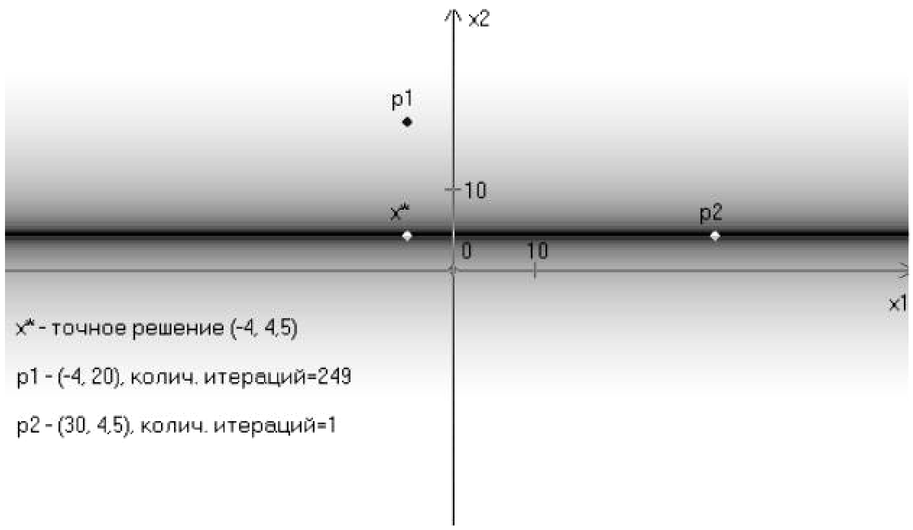


Рисунок 1. – Визуализация скорости сходимости (иллюстрация из работы [1])

На ней жирной линией, в данном случае это прямая, выделена область таких начальных условий.

Целью данной работы является обобщение этого явления для систем произвольной размерности.

Перед началом исследования был проведен анализ монографической литературы, посвящённой решению систем линейных уравнений итерационными методами. Он показал (см., например, [2–4]), что центральное внимание в их изложении уделяется и продолжает уделяться [5–8] установлению критериев сходимости. Как правило, подчёркивается также факт сходимости описанных методов при любом выборе начального приближения. Пожалуй, наиболее близкой из просмотренных, по существу рассматриваемого вопроса, является задача об оптимизации скорости сходимости итерационных последовательностей и один из основных подходов в этом направлении состоит в следующем. Последовательные приближения генерируются по правилу

$$x^{(n+1)} = x^{(n)} - \tau\left(Ax^{(n)} - b\right),$$

где очередное приращение к решению выбирается пропорциональным невязке n-го приближения с коэффициентом пропорциональности τ и оптимальное значение этого параметра, обеспечивающее наивысшую скорость сходимости, для положительно-определенных матриц A оказывается равным

$$\tau = \frac{2}{\min\lambda + \max\lambda},$$

где $\min\lambda$, $\max\lambda$ – наименьшее и наибольшее, соответственно, собственные значения матрицы A [5–7]. Отмечается, что чем меньше спектральный радиус матрицы системы уравнений, тем выше скорость сходимости. Поэтому исходную систему в ряде вычислительных процедур предварительно подготавливают или предобуславливают [8], например, умножая исходную систему на матрицу, близкую к обратной отдельной части системы уравнений, в частности, ее главной диагонали. На использовании предобуславливателей делается акцент и в монографии [9], в ней подчеркивается, что эти процедуры основаны на подпространствах Крылова [10] и реализованы в различных средах моделирования [11]. Итеративные подходы по повышению точности полученных решений предлагаются в руководстве [12]. Более близких результатов как в отечественной, так и в зарубежной литературе, к явлению, затрагиваемому нами в данной статье, и, тем более, его описание, обнаружено не было.

Приведение исходной системы к методу Зейделя, зависимость n-го приближения от начального

Предположим, что мы имеем систему линейных уравнений

$$Ax = b, \qquad (1)$$

где $A = \left(a_{ij}\right)_{n,\,n}$ – матрица коэффициентов, $\det A \neq 0$, $x = \left(x_1, x_2, ..., x_n\right)^T$ – набор неизвестных, $b = \left(b_1, b_2, ..., b_n\right)^T$ – вектор правых частей уравнений. Существует известная процедура [4] ее приведения к нормальному виду и она заключается в следующем.

Первоначально умножим слева обе части уравнения (1) на A^T и получаем

$$A_1 x = b_1, \qquad (2)$$

где $A_1 = A^T A$, $b_1 = A^T b$. Отметим, что матрица A_1 является симметричной, т.к. $A_1^T = \left(A^T A\right)^T = A^T \left(A^T\right)^T = A^T A = A_1$, а её диагональные элементы равны произведению столбцов матрицы A на себя и поэтому $c_{ii} = \left(A_1\right)_{ii} > 0$. Действительно, в противном случае, т.е. допустив $c_{ii} = 0$, по крайней мере, один из столбцов матрицы A равен нулю, что невозможно в силу $\det A \neq 0$. Деля, теперь, каждое из уравнений системы (2) последовательно на соответствующий диагональный элемент c_{ii} и, разрешая их относительно $x_1, x_2, ...$ и т.д., получим нормальную систему

$$x = Bx + d, \qquad (3)$$

где правая часть, согласно указанным преобразованиям, математически описывается так:

$$Bx + d = (c_{ii}\delta_{ij})_{n,n}^{-1}((c_{ii}\delta_{ij})_{n,n} - A_1)x + (c_{ii}\delta_{ij})_{n,n}^{-1} b_1. \qquad (4)$$

Оказывается, что для нормальной системы, полученной таким образом, метод Зейделя сходится при любом начальном приближении и данное обстоятельство основано на том, что матрица $A_1 = A^T A$ является положительно определенной. Действительно, оценим значения, принимаемые квадратичной формой $x^T A_1 x$. Имеем

$$x^T A_1 x = x^T (A^T A) x = (x^T A^T)(Ax) = \\ = (xA)^T (Ax) = \left\|Ax\right\|^2 > 0 .$$

Но, по свойству норм, $\left\|Ax\right\| = 0$ тогда и только тогда, когда $Ax = 0$. А в силу того, что $\det A \neq 0$, это возможно лишь при $x = 0$. Таким образом, квадратичная форма и соответствующая ей матрица являются положительно определенными. А указанные преобразования системы (2) представляют собой, по существу, метод Некрасова, который, для положительно определенной матрицы A_1 сходится при любом начальном приближении [4].

А теперь, следуя совету Д. Пойа [14] пояснять идеи на простых примерах, опишем свои дальнейшие соображения для системы трех уравнений. Вернемся к (3) и заметим, что матрица B имеет нулевую главную диагональ. Таким образом, в развернутом виде система (3) выглядит так:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & 0 & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{pmatrix} . \qquad (5)$$

Обозначив треугольные матрицы через

$$B_l = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ b_{21} & 0 & 0 \\ b_{31} & b_{32} & 0 \end{pmatrix}, \quad B_u = \begin{pmatrix} 0 & b_{12} & b_{13} \\ 0 & 0 & b_{23} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

метод Зейделя можно описать, как

$$x^{(m+1)} = B_l x^{(m+1)} + B_u x^{(m)} + d ,$$

или, после приведения к простой итерации, в виде

$$(E - B_l) x^{(m+1)} = B_u x^{(m)} + d$$

или

$$x^{(m+1)} = (E - B_l)^{-1} B_u x^{(m)} + (E - B_l)^{-1} d . \qquad (6)$$

Введя теперь очевидные обозначения, представим систему (6) в виде

$$x^{(m+1)} = B_1 x^{(m)} + d_1 , \qquad (7)$$

заметив, что $\det B_1 = \det B_u = 0$. Предполагая здесь, что матрица B_1 имеет диагональную каноническую форму, имеющую место, например, при простых собственных значениях, т.е. при $\lambda_1 = 0, \lambda_2 \neq \lambda_3$, представим ее в виде [13]

$$B_1 = THT^{-1} ,$$

где T – матрица перехода, столбцами которой являются собственные векторы B_1, а

$$H = T^{-1} B_1 T = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{pmatrix}. \qquad (8)$$

Таким образом,

$$x^{(m+1)} = THT^{-1} x^{(m)} + d_1$$

или

$$T^{-1} x^{(m+1)} = HT^{-1} x^{(m)} + T^{-1} d_1 ,$$

или

$$y^{(m+1)} = Hy^{(m)} + d_2 . \qquad (9)$$

Пусть теперь $y^{(0)}$ – начальное приближение к решению системы и выразим через него $(m+1)$-е. Согласно (9), имеем

$$y^{(1)} = Hy^{(0)} + d_2 ,$$

$$y^{(2)} = H^2 y^{(0)} + Hd_2 + d_2 ,$$

$$y^{(3)} = H^3 y^{(0)} + H^2 d_2 + Hd_2 + d_2 ,$$

……………………………………

$$y^{(m+1)} = H^{m+1} y^{(0)} + H^m d_2 + H^{m-1} d_2 + \ldots + d_2 .$$

Далее, учтем, что

$$H^k = \begin{pmatrix} \lambda_1^k & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2^k & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3^k \end{pmatrix},$$

и после покомпонентного сложения в $(m+1)$-ом приближении

$$y^{(m+1)} = H^{m+1} y^{(0)} + (H^m + H^{m-1} + \ldots + E) d_2 ,$$

и применения формулы для суммы m членов геометрической прогрессии, получим

$$y^{(m+1)} = \begin{pmatrix} \lambda_1^{m+1} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2^{m+1} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3^{m+1} \end{pmatrix} y^{(0)} + $$

$$+ \begin{pmatrix} \frac{1-\lambda_1^{m+1}}{1-\lambda_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1-\lambda_2^{m+1}}{1-\lambda_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\lambda_3^{m+1}}{1-\lambda_3} \end{pmatrix} d_2$$

Разбивая теперь матрицу в скобках второго слагаемого на две

$$y^{(m+1)} = \begin{pmatrix} \lambda_1^{m+1} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2^{m+1} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3^{m+1} \end{pmatrix} y^{(0)} - \begin{pmatrix} \frac{\lambda_1^{m+1}}{1-\lambda_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\lambda_2^{m+1}}{1-\lambda_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\lambda_3^{m+1}}{1-\lambda_3} \end{pmatrix} d_2 +$$

$$+ \begin{pmatrix} \frac{1}{1-\lambda_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{1-\lambda_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{1-\lambda_3} \end{pmatrix} \cdot d_2$$

и, представляя матрицу второго слагаемого правой части последнего выражения в виде произведения, получим

$$y^{(m+1)} = \begin{pmatrix} \lambda_1^{m+1} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2^{m+1} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3^{m+1} \end{pmatrix} y^{(0)} - \begin{pmatrix} \lambda_1^{m+1} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2^{m+1} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3^{m+1}) \end{pmatrix} \times$$

$$\times \begin{pmatrix} \frac{1}{1-\lambda_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{1-\lambda_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{1-\lambda_3} \end{pmatrix} d_2 + \begin{pmatrix} \frac{1}{1-\lambda_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{1-\lambda_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{1-\lambda_3} / () \end{pmatrix} d_2 .$$

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

Наконец, группируя слагаемые правой части и вынося общий матричный множитель, получаем

$$y^{(m+1)} = \begin{pmatrix} \lambda_1^{m+1} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2^{m+1} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3^{m+1} \end{pmatrix} \times$$

$$\times \left(y^{(0)} - \begin{pmatrix} 1/(1-\lambda_1) & 0 & 0 \\ 0 & 1/(1-\lambda_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1/(1-\lambda_3) \end{pmatrix} d_2 \right) + \quad (10)$$

$$+ \begin{pmatrix} 1/(1-\lambda_1) & 0 & 0 \\ 0 & 1/(1-\lambda_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1/(1-\lambda_3) \end{pmatrix} d_2 .$$

Соотношение (10) описывает зависимость $(m+1)$-го приближения от начального $y^{(0)}$. Пусть, теперь, вектор d_2 имеет координаты

$$d_2 = \begin{pmatrix} d_{21} \\ d_{22} \\ d_{23} \end{pmatrix},$$

тогда (10) можно записать в таком виде

$$y^{(m+1)} = \begin{pmatrix} \lambda_1^{m+1} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2^{m+1} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3^{m+1} \end{pmatrix} \left(y^{(0)} - \begin{pmatrix} d_{21}/(1-\lambda_1) \\ d_{22}/(1-\lambda_2) \\ d_{23}/(1-\lambda_3) \end{pmatrix} \right)$$

$$+ \begin{pmatrix} d_{21}/(1-\lambda_1) \\ d_{22}/(1-\lambda_2) \\ d_{23}/(1-\lambda_3) \end{pmatrix}.$$

Отсюда следует, что при $\lambda_1 = 0$, в нашем случае это действительно так вследствие $\det B_1 = 0$, при любой величине $y_1^{(0)}$ значение первой компоненты $y_1^{(m+1)}$ очередного приближения не меняется и равно d_{21}. Таким образом, взяв в качестве начального приближения вектор

$$y^{(0)} = \begin{pmatrix} y_1^{(0)} \\ d_{22}/(1-\lambda_2) \\ d_{23}/(1-\lambda_3) \end{pmatrix},$$

где $y_1^{(0)}$ – произвольное значение, все остальные приближения (10), начиная с 1-го, равны

$$y^{(m+1)} = \begin{pmatrix} d_{21} \\ d_{22}/(1-\lambda_2) \\ d_{23}/(1-\lambda_3) \end{pmatrix}, \; m = 0, 1, 2, \dots \; .$$

Т.е. за одну итерацию можно определить решение системы. Выполняя теперь обратный переход к первоначальным переменным, т.е. учитывая

$$y^{(0)} = T^{-1} x^{(0)} = \begin{pmatrix} y_1^{(0)} \\ d_{22}/(1-\lambda_2) \\ d_{23}/(1-\lambda_3) \end{pmatrix}, \quad (11)$$

получим

$$x^{(0)} = T \cdot \begin{pmatrix} y_1^{(0)} \\ d_{22}/(1-\lambda_2) \\ d_{23}/(1-\lambda_3) \end{pmatrix}, \quad (12)$$

где параметр $y_1^{(0)}$ принимает произвольные значения. В геометрическом плане, соотношение (12) описывает прямую линию в пространстве R^3. Если в (12) выполнить перемножение, получим уравнение прямой линии в обычной параметрической форме.

Таким образом, обоснованным представляется

вывод: взяв в качестве начальной произвольную точку прямой (12) *мы за одну итерацию получаем решение исходной системы. По этим причинам прямая* (12) *и является линией наилучшей сходимости.*

Обобщение полученного результата на *n*-мерный случай очевидно, и, на наш взгляд, в дополнительных пояснениях не нуждается. Отметим, что в случаях, когда нулевой корень является кратным собственным значением матрицы B_1, можно говорить о плоскостях или подпространствах наилучшей сходимости. Случай системы, для которых каноническая матрица H имеет жордановы ящики, оставляем для дальнейшего рассмотрения.

Численные эксперименты

Численные эксперименты были проведены в среде *Mathcad* [15, 16] с помощью пользовательских функций, реализующих формулы (1)–(12), записанных ее средствами программирования. При реализации метода Зейделя выводилась информация как о достигнутой точности решения, так и о соответствующем числе итераций. Обсудим полученные результаты.

Эксперимент 1. Для системы (1) с матрицами

$$A := \begin{pmatrix} 2 & 3 & -5 & 0 \\ 3 & -1 & 2 & 5 \\ -4 & 5 & 3 & 1 \\ 2 & -7 & 4 & 2 \end{pmatrix} \qquad b := \begin{pmatrix} 8 \\ 10 \\ 11 \\ -11 \end{pmatrix}$$

решение методом Зейделя нормализованной системы (3), (4) с нулевым вектором $x^{(0)}$ для реальной точности, равной 0.00005, потребовало 9609 итераций. По формулам (2)–(7) получены матрицы

$$\mathrm{B1} = \begin{pmatrix} 0 & 0.939394 & 0.242424 & -0.454545 \\ 0 & 0.346681 & 0.446609 & -1.082251\times 10^{-3} \\ 0 & 0.33177 & 0.284031 & -0.45683 \\ 0 & -0.540152 & -0.111616 & 0.546549 \end{pmatrix} \qquad \mathrm{d1} = \begin{pmatrix} -0.606061 \\ 1.51443 \\ 0.177489 \\ 2.185522 \end{pmatrix},$$

дающие представление системы в виде (7). Для неё матрица перехода *T*, каноническая форма H (8) и вектор d_2 в (9) имеют вид

$$\mathrm{T} = \begin{pmatrix} 1 & 0.647833 & -0.740836-0.15616i & -0.740836+0.15616i \\ 0 & 0.323795 & 0.037775-0.412876i & 0.037775+0.412876i \\ 0 & 0.471674 & 0.20022+0.257611i & 0.20022-0.257611i \\ 0 & -0.502984 & 0.247892-0.294923i & 0.247892+0.294923i \end{pmatrix}$$

$$\mathrm{H} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.998939 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.89161+0.23949i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.89161-0.23949i \end{pmatrix}$$

$$\mathrm{d2} := \mathrm{T}^{-1}\cdot \mathrm{d1} = \begin{pmatrix} 2.6 \\ 3.015321\times 10^{-3} \\ 2.503192+1.603798i \\ 2.503192-1.603798i \end{pmatrix}. \qquad \mathrm{x0} := \mathrm{T}\cdot \mathrm{yy} = \begin{pmatrix} -1.206061 \\ 1.51443 \\ 0.177489 \\ 2.185522 \end{pmatrix} \qquad \mathrm{xs0} = \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Начальное приближение yy, полученное по формулам (11), (12) для произвольного значения $y_1^{(0)}$, например, $y_1^{(0)} = 2$ оказалось равным

$$y^{(0)} = T^{-1}x^{(0)} = \mathrm{yy} = \mathrm{T}^{-1}\cdot \mathrm{x0} = \begin{pmatrix} y_1^{(0)} \\ d_{22}/(1-\lambda_2) \\ d_{23}/(1-\lambda_3) \\ d_{24}/(1-\lambda_4) \end{pmatrix} =,$$

$$= \begin{pmatrix} \mathrm{y0}_1 \\ \mathrm{d2}_2/(1-\lambda_2) \\ \mathrm{d2}_3/(1-\lambda_3) \\ \mathrm{d2}_3^*/(1-\lambda_3^*) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 3.015321\times 10^{-3} \\ 2.503192+1.603798i \\ 2.503192-1.603798i \end{pmatrix}$$

а вектор $x^{(0)}$, дающий точное решение системы $xs0$ за одну итерацию, – равным

Обратим внимание, что в данном случае расстояние начального приближения $x^{(0)}$ от точного решения $xs0$ по евклидовой метрике [13] составляет $\|x^{(0)} - xs0\| = 3.8168$, в то время, как расстояние точки $x^{(0)} = 0$, исходя из которой метод Зейделя сходится за 9609 итераций, составляет $\|0 - xs0\| = 3.8730$.

Численный эксперимент с изменением $y_1^{(0)}$ от –6 до +6 с шагом 2 показал изменение с тем же шагом только первого элемента и в векторе yy, и в векторе $x^{(0)}$ (см. ниже). Во всех случаях точное решение $xs0$ системы достигалось за одну итерацию метода Зейделя. При этом все координаты вектора $x^{(0)}$ на линии наилучшей сходимости далеки от точного решения.

yy_1	-6	-4	-2	0	2	4	6
$\mathrm{x0}_1$	-9.206061	-7.206061	-5.206061	-3.206061	-1.206061	0.793939	2.793939

Эксперимент 2. Проведен для изначально симметричной системы с выбором начального вектора $x^{(0)} = 0$.

$$\mathrm{A} := \begin{pmatrix} 11 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 11 & 2 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 11 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 11 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 2 & 11 \end{pmatrix} \qquad \mathrm{b} := \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ 11 \\ 2 \\ 2 \end{pmatrix}$$

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

$$xs0 = \begin{pmatrix} 0.094512 \\ -0.01372 \\ 0.987805 \\ -0.01372 \\ 0.094512 \end{pmatrix}$$

Расчёт показал замедление скорости сходимости к $xs0$ для «симметризованой», в соответствии с (2), системы в сравнении с «несимметризованной», с 7 до 13 итераций, что вполне согласуется с изменением отношения максимального собственного значения к минимальному его значению для первоначальной «несимметризованной» и для «симметризованной» матриц системы [7, с. 285].

Итог вычислений по (1)–(12) приведен ниже, и он подтвердил свойства первоначального приближения, лежащего на прямой наилучшей сходимости и для новой системы:

$$B1 = \begin{pmatrix} 0 & -0.365079 & -0.206349 & -0.031746 & -7.936508\times 10^{-3} \\ 0 & 0.129182 & -0.296215 & -0.188767 & -0.027961 \\ 0 & 0.025125 & 0.149492 & -0.290945 & -0.186653 \\ 0 & -0.02388 & 0.010395 & 0.146156 & -0.279092 \\ 0 & 2.330073\times 10^{-3} & -0.023601 & 0.012922 & 0.141357 \end{pmatrix} \qquad d1 = \begin{pmatrix} 0.293651 \\ 0.280708 \\ 0.85413 \\ 4.067103\times 10^{-3} \\ 0.104675 \end{pmatrix}$$

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0.130117+0.701474i & 0.130117-0.701474i & 0.97169 & -0.998643 \\ 0 & 0.382518-0.406275i & 0.382518+0.406275i & -0.233537 & 0.049758 \\ 0 & -0.329884-0.172917i & -0.329884+0.172917i & -0.01149 & 0.012145 \\ 0 & -3.715883\times 10^{-4}+0.192679i & -3.715883\times 10^{-4}-0.192679i & -0.031084 & 9.397754\times 10^{-3} \\ 0 & 0.055031-0.027332i & 0.055031+0.027332i & 0.013421 & 4.091769\times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

$$H = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.227048+0.144761i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.227048-0.144761i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.09109 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.021002 \end{pmatrix}$$

$$d2 := T^{-1}\cdot d1 = \begin{pmatrix} 37 \\ -0.41572+0.401778i \\ -0.41572-0.401778i \\ 8.227821 \\ 44.089206 \end{pmatrix}$$

$$y0 := 2 \qquad yy = \begin{pmatrix} 2 \\ -0.613659+0.404869i \\ -0.613659-0.404869i \\ 9.052401 \\ 45.035017 \end{pmatrix} \qquad x0 := T\cdot yy = \begin{pmatrix} -34.905488 \\ -0.01372 \\ 0.987805 \\ -0.01372 \\ 0.094512 \end{pmatrix}$$

yy_1	-6	-4	-2	0	4	6
$x0_1$	-42.905488	-40.905488	-38.905488	-36.905488	-32.905488	-30.905488

Беловодский В.Н., Климко Г.Т.
Донецкий национальный технический университет

Отметим, что наблюдаемое пропорциональное изменение значений вновь получаемых компонент, как и выше, подчёркивает принадлежность каждого из векторов начального приближения некоторой прямой, дающей сходимость за одну итерацию. Но во втором эксперименте все компоненты такого начального вектора, кроме первой, оказываются равными их значениям в решении системы.

Заключение

Изложенные результаты показывают не только возможность влияния начального приближения на скорость решения системы линейных уравнений, основанной на методе Зейделя, но и вскрывают одну из возможных причин такого явления. В работе указан алгоритм определения уравнения прямой в *n* мерном пространстве, точки которой дают начальные значения с наилучшей возможной сходимостью – за одну итерацию. Характерно, что компоненты начального приближения могут значительно отличаться от точного решения, как в значении только одной его компоненты, так и во всех остальных, что зависит уже от вида конкретной системы. Отклонение начальной точки от прямой наилучшей сходимости, как показывают вычисления, продолжает влиять на скорость сходимости. Оказывается, что близость к ней начальной «точки» отражается на требуемом числе итераций, но это уже задача теории возмущений. Интересно также отметить, что полученные численные результаты не зависят от того, решается ли система (7) методом простой итерации или система (3), с обновлением каждой компоненты сразу после её вычисления, как в [7].

Наличие кратных нулевых корней обуславливают уже появление подпространств наилучшей сходимости. Аналогичными свойствами, т.е. наличием направлений наилучшей сходимости, обладает, по-видимому, и любая другая нормальная система, имеющая нулевые собственные значения. А перспектива существенного снижения вычислительных затрат итерационных процедур за счет удачного выбора начального приближения, делает актуальной задачу разработки алгоритмов минимальной трудоемкости, определяющих линии наилучшей сходимости.

Заметим, что полнота исследования предполагает также описание и общего случая, т.е. учета наличия жордановых ящиков в канонических формах рассматриваемых систем. Рассмотрение этого и является одной из задач на ближайшую перспективу.

Список литературы

1. Беловодский В.Н., Варзар Р.Л. О скорости сходимости метода Зейделя в зависимости от начальных условий. Збірник науково-методичних робіт. Вип. 4. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – С. 132–137.
2. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. – М.: Наука, 1989. – 432 с.
3. Петров И.Б., Лобанов А.И. Лекции по вычислительной математике. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 523 с.
4. Фаддеев Д.К., Фаддеева В.Н. Вычислительные методы линейной алгебры. – Санкт-Петербург: Лань, 2002. – 736 с.
5. Глазырина Л.Л., Карчевский М.М. Введение в численные методы. – Казань: Казан. ун-т, 2017. – 122 с.
6. Баркалов К.А. Методы параллельных вычислений. – Н. Новгород: Нижегородский университет им. Н. Лобачевского, 2012. – 124 с.
7. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 636 с.
8. Шарый С.П. Курс вычислительных методов. – Новосибирск: Ин-т вычислительных технологий СО РАН, 2017. – 570 с.
9. Burden R.L., Fairs J.D. Numerical Analysis. Brook Cole, 2010, 877 p.
10. Saad Y. Iterative methods for sparse linear systems. SIAM Society for Industrial & Applied Mathematics, 2003, 477 p.
11. Moler C.B. Numerical Computing with Matlab. SIAM, 2006, 184 p.
12. Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P. Numerical recipes. The Art of Scientific Computing. Cambridge, Cambridge University Press, 2007, 1262 p.
13. Блох Э.Л., Лошинский Л.И., Турин В.Я. Основы линейной алгебры и некоторые ее приложения. – М.: Вс. шк., 1971. – 256 с.
14. Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. – М.: Наука, 1975. – 464 с.
15. Охорзин В.А. Компьютерное моделирование в системе Mathcad. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 144 с.
16. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad 15. Учебный курс. – Санкт Петербург: Питер, 2011. – 400 с.

References (transliteration)

1. Belovodskij V.N., Varzar R.L. O skorosti shodimosti metoda Zejdelja v zavisimosti ot nachal'nyh uslovij [On the rate of convergence of the Seidel method depending on the initial conditions.]. Zbirnik naukovo-metodichnih robit. Issue 4. Donetsk, DonNTU, 2006: 132–137. (in Russian).

2. Samarskij A.A., Gulin A.V. Chislennye metody [Numerical technique]. Ucheb. posobie dlja vuzov. Moscow, Nauka, 1989, 432 p. (in Russian).
3. Petrov I.B., Lobanov A.I. Lekcii po vychislitel'noj matematike: Ucheb. Posobie [Lectures on computational mathematics: Schoolbook]. Moscow, BINOM. Laboratorija znanij, 2006, 523 p. (in Russian).
4. Faddeev D.K., Faddeeva V.N. Vychislitel'nye metody linejnoj algebry [Computational methods of linear algebra]. Saint-Petersburg, Lan', 2002, 736 p. (in Russian).
5. Glazyrina L.L., Karchevskij M.M. Vvedenie v chislennye metody: ucheb. posobie [Introduction to the numerical methods: Schoolbook]. Kazan', Kazan. un-t, 2017, 122 p. (in Russian).
6. Barkalov K.A. Metody parallel'nyh vychislenij [Parallel computing methods]. N. Novgorod, Nizhegorodskij universitet im. N. Lobachevskogo, 2012, 124 p. (in Russian).
7. Bahvalov N.S., Zhidkov N.P., Kobel'kov G.M. Chislennye metody [Numerical technique]. Moscow, BINOM. Laboratorija znanij, 2008, 636 p. (in Russian).
8. Sharyj S.P. Kurs vychislitel'nyh metodov [Course of the computational methods]. Novosibirsk, In-t vychislitel'nyh tehnologij SO RAN, 2017, 570 p. (in Russian).
9. Burden R.L., Fairs J.D. Numerical Analysis. Brook Cole, 2010, 877 p.
10. Saad Y. Iterative methods for sparse linear systems. SIAM Society for Industrial & Applied Mathematics, 2003, 477 p.
11. Moler C.B. Numerical Computing with Matlab. SIAM, 2006, 184 p.
12. Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P. Numerical recipes. The Art of Scientific Computing, Cambridge, Cambridge University Press, 2007, 1262 p.
13. Bloh J.L., Loshinskij L.I., Turin V.J. Osnovy linejnoj algebry i nekotorye ee prilozhenija [Basics of linear algebra and some of its applications]. Moscow, Vysshaja shkola, 1971, 256 p. (in Russian).
14. Poja D. Matematika i pravdopodobnye rassuzhdenija [Mathematics and plausible reasoning]. Moscow, Nauka, 1975, 464 p. (in Russian).
15. Ohorzin V.A. Komp'juternoe modelirovanie v sisteme Mathcad [Computer modeling in the Mathcad system]. Moscow, Finansy i statistika, 2006, 144 p. (in Russian).
16. Makarov E.G. Inzhenernye raschety v Mathcad 15 [Engineering calculations in Mathcad]. Uchebnyj kurs. Saint-Petersburg, Piter, 2011, 400 p. (in Russian).

Бєловодський В.Н., Клімко Г.Т. «Метод Зейделя, напрямки найкращої збіжності». *Раніше на прикладі системи двох рівнянь авторами було помічено, що одна з ітераційних процедур вирішення систем лінійних рівнянь, яка заснована на методі Зейделя, при обраних певним чином початкових умовах сходиться за один крок. У цій статті це явище обговорюється та узагальнюється для систем довільної розмірності. Розглядається система виду $Ax = b$, шляхом відомих перетворень приводиться до нормального вигляду $x = Bx + d$, для якої метод Зейделя сходиться. Далі, на основі розкладання матриці B у вигляді суми нижньої та верхньої трикутних матриць метод Зейделя зводиться до методу простої ітерації системи $x = B_1x + d_1$, де $B_1 = (E - B_l)^{-1} B_u$, $d_1 = (E - B_l)^{-1} d$, $\det B_1 = 0$. При припущенні діагональні канонічної форми матриці B_1, формується ітераційна послідовність і встановлюється залежність її n-го члена від початкового наближення системи. На основі отриманих співвідношень, в залежності від порядку кратності нульового власного значення матриці B_1, встановлюється існування прямої або площини найкращою збіжності. Наведені приклади виконано в середовищі Mathcad й ілюструють отримані результати. В одному з них при традиційних нульових початкових умов рішення системи з точністю до чотирьох десяткових знаків вдається досягти за 9609 ітерацій, при виборі початкового наближення на лінії найкращої збіжності – за одну. Навіть в тих випадках, коли відстані початкових точок, які розташовано на лінії найкращою збіжності, розташовувалися від точного рішення далі ніж нульова точка.*

Ключові слова: система лінійних рівнянь, метод Зейделя, збіжність, матриця, власне значення, канонічна форма, ітерація.

Belovodskiy V.N., Klimko G.T. "Seidel method, directions of best convergence". *Earlier, on the example of a system of two equations, the authors observed, that one of the iterative procedures for solving systems of linear equations based on the Seidel method, converges in one step for initial conditions chosen in a certain way. In this paper, this phenomenon is discussed and generalized for systems of arbitrary dimension. The system of the form* $Ax = b$ *is considered , by the known transformations it is reduced to the normal form* $x = Bx + d$ *for which Seidel method converges.Further, based on the matrix decomposition* $B = B_l + B_u$ *as the sum of the lower* B_l *and upper* B_u *triangular matrices, Seidel's method is reduced to a simple iteration method of the system* $x = B_1x + d_1$, *where* $B_1(E - B_l)^{-1}B_u$, $d_1(E - B_l)^{-1}d$, $\det B_1 = 0$. *Then, under assumption that the canonical form of the matrix* B_1 *is diagonal, an iterative sequence is formed and the dependence of its nth term on the initial approximation of the system is established. Based on the obtained ratios and depending on the order of multiplicity of the zero eigenvalue of the matrix* B_1 *the existence of a line or a plane of the best convergence is established. The given examples, which are executed in the Mathcad environment, illustrate the obtained results. In one of them, for a traditionally chosen zero initial approximation, the solution of the system with an accuracy to four decimal places after the decimal point can be achieved in 9609 iterations, but when choosing the initial approximation on the line of the best convergence – in just one. This is true even in cases where the distances of the initial points lying on the line of the best convergence were located significantly farther from the exact solution compared to the zero point.*

Keywords: system of linear equations, Seidel method, convergence, matrix, eigenvalue, canonical form, iteration.

Статья поступила в редакцию 28.09.2018
Рекомендована к публикации канд. техн. наук В.А. Павлием

Ссылка для цитирования статьи
For citation

Беловодский В.Н., Климко Г.Т. Метод Зейделя, направления наилучшей сходимости // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(14)–2(15). 2018. – С. 131–139.

Belovodskiy V.N., Klimko G.T. 2018. Seidel method, directions of best convergence. *System analysis and information technology in environmental and social sciences,* no.1(14)–2(15): 131–139. (in Russian).

УДК 511.512

Исследование особого ряда в задаче о числе решений уравнения с квадратичными формами

Куртова Л.Н.
Белгородский государственный национальный исследовательский университет
(НИУ «БелГУ»)
kurtova@bsu.edu.ru

Куртова Л.Н. «Исследование особого ряда в задаче о числе решений уравнения с квадратичными формами». *В теории чисел важную роль играют аддитивные задачи. Одной из них является проблема делителей Ингама. Рассматривается бинарная аддитивная задача с квадратичными формами, которая является аналогом классической проблемы делителей. В работе приведены результаты изучения главного члена асимптотической формулы для числа решений уравнения, содержащего бинарные положительно определенные примитивные квадратичные формы разных дискриминантов. Доказана положительность суммы особого ряда, входящего в главный член асимптотической формулы. Доказательство основано на том, что особый ряд является мультипликативной функцией, и его сумма может быть представлена в виде произведений по простым делителям. С использованием точных формул для двойных сумм Гаусса, суммы Клоостермана и обобщенной суммы Клоостермана от степени простого числа показана положительность каждого из произведений, входящих в разложение.*

Ключевые слова: аддитивные задачи, асимптотическая формула, представление главного члена, сумма Клоостермана, двойная сумма Гаусса.

Введение

В 1927 году А.Е. Ингам [1] поставил и решил элементарными методами задачу получения асимптотической формулы для числа решений $J(n)$ уравнения $x_1x_2 - x_3x_4 = 1$, $x_1x_2 \le n$, где x_1, x_2, x_3, x_4 – натуральные числа. А.Е. Ингам доказал, что

$$J(n) = \frac{6}{\pi^2} n \cdot \ln^2 n + O(n \cdot \ln n).$$

В 1931 году Т. Эстерман [2], применив к задаче Ингама круговой метод, вывел для числа решений $J(n)$ уравнения асимптотическую формулу, остаточный член которой имеет степенное понижение по сравнению с главным. Им получен следующий результат:

$$J(n) = n \cdot P_2(\ln n) + R(n),$$

где $P_2(x)$ – многочлен 2-ой степени, а

$$R(n) = O\left(n^{11/12} \cdot \ln^{17/3} n\right).$$

В 1979 году Д.И. Исмоилов [3], дополнив элементарный метод Т. Эстермана оценками А. Вейля [4] суммы Клоостермана, получил следующую оценку остатка $R(n) \ll n^{5/6+\varepsilon}$, где $\varepsilon > 0$ – сколь угодно малая постоянная.

В 1979 году другим методом ту же оценку для $R(n)$ получил Д.Р. Хиз-Браун [5].

В 2006 году Г.И. Архипов и В.Н. Чубариков [6] вывели новую оценку остатка $R(n) \ll n^{3/4} \cdot \ln^4 n$.

В 1980 году Н.В. Кузнецов [7] представил сумму сумм Клоостермана через билинейные формы коэффициентов Фурье собственных функций оператора Лапласа и показал, что между суммами Клоостермана существует интерференция.

В 1982 году Ж.-М. Дезуйе и Х. Иванец [8], используя формулу Н.В. Кузнецова, доказали, что $R(n) \ll n^{2/3+\varepsilon}$.

Другое направление исследований, касающееся данной тематики, связано с рассмотрением различных аналогов проблемы делителей Ингама. Одним из таких аналогов являются бинарные аддитивные задачи с квадратичными формами.

В работах Куртовой Л.Н. [9, 10, 11] решены задачи получения асимптотических формул для числа решений уравнений $Q_1(\overline{m}) - Q_2(\overline{k}) = 1$, $Q_1(\overline{m}) - Q_2(\overline{k}) = h$, содержащих бинарные положительно определенные примитивные квадратичные формы, соответствующие классам идеалов мнимого квадратичного поля $F = \mathrm{Q}(\sqrt{d})$.

Рассмотрим задачу получения асимптотической формулы для числа решений уравнения $Q_1(\overline{m}) - Q_2(\overline{k}) = h$ с весом $\exp\left(-\left(Q_1(\overline{m}) + Q_2(\overline{k})\right)/n\right)$, когда квадратичные формы соответствуют классам идеалов двух мнимых квадратичных полей разных дискриминантов.

Пусть $i=1,2$, d_i – отрицательное бесквадратное число, $F_i=\mathrm{Q}\left(\sqrt{d_i}\right)$ – мнимое квадратичное поле, δ_{F_i} – дискриминант поля F_i; $Q_i\left(\overline{m}\right)=\frac{1}{2}\overline{m}^t A_i\overline{m}$ – квадратичные формы с матрицами A_i, $\det A_i=-\delta_{F_i}$.

Для $I(n,h)=\sum\limits_{Q_1(\overline{m})-Q_2(\overline{k})=h} e^{-\left(Q_1(\overline{m})+Q_2(\overline{k})\right)/n}$ в [12] была получена асимптотическая формула, главный член которой $\frac{2\pi^2 n}{\sqrt{\delta_{F_1}\delta_{F_2}}}\sum\limits_{q=1}^{+\infty}\Phi(q)$ представляет собой сумму особого ряда

$$\Phi(q)=q^{-4}\sum_{\substack{l=1,\\(l,q)=1}}^{q} e^{-2\pi i\frac{hl}{q}} G_1\left(q,l,\overline{0}\right)G_2\left(q,-l,\overline{0}\right),$$

содержащего двойные суммы Гаусса

$$G_i\left(q,l,\overline{0}\right)=\sum_{\overline{m}\ (mod\ q)}\exp\left(2\pi i l Q_i\left(\overline{m}\right)/q\right),$$

соответствующие квадратичным формам $Q_i\left(\overline{m}\right)$, $(i=1,2)$. Проведем исследование особого ряда данной задачи.

Теорема. *1. Функция $\Phi(q)$ является мультипликативной.*

2. Сумма особого ряда $\sum\limits_{q=1}^{+\infty}\Phi(q)$ положительна.

Вспомогательные утверждения

Лемма 1. *(Точные формулы для двойных сумм Гаусса). 1. Если $p\nmid\delta_{F_i}$, то $G_i\left(p^\alpha,l,\overline{0}\right)=p^\alpha\left(\frac{\delta_{F_i}}{p^\alpha}\right)$, где $\left(\frac{\delta_{F_i}}{p^\alpha}\right)$ – символ Якоби.*

2. Если $p\mid\delta_{F_i}$, то $G_i\left(p^\alpha,l,\overline{0}\right)=\varepsilon(p)p^\alpha\sqrt{p}\left(\frac{a_i l}{p}\right)\left(\frac{\delta_{F_i}/p}{p^{\alpha-1}}\right)$, где a_i – первый коэффициент квадратичной формы $Q_i\left(\overline{m}\right)$; $\varepsilon(p)=1$, если $p\equiv 1(mod\,4)$ и $\varepsilon(p)=i$, если $p\equiv 3(mod\,4)$.

Доказательство. См. в [13], [14].

Лемма 2. *(Точные формулы для суммы Клоостермана) Пусть $K(q,u,v)=\sum\limits_{\substack{x=1\\(x,q)=1}}^{q} e^{2\pi i\frac{ux+vx^*}{q}}$ – сумма Клоостермана, $x^*\cdot x\equiv 1(mod\,q)$.*

1. Если $(u,p)=1$, $\alpha>1$, то

$$K(p,u,0)=-1,\quad K\left(p^\alpha,u,0\right)=0.$$

2. Если $u=p^{\alpha_1}u_1$, $(u_1,p)=1$, $1<\alpha\le\alpha_1$, $s>1$, то

$$K\left(p^\alpha,u,0\right)=p^{\alpha-1}(p-1),\quad K\left(p^{\alpha_1+1},u,0\right)=-p^{\alpha_1},$$

$$K\left(p^{\alpha_1+s},u,0\right)=0.$$

Доказательство. См. в [15].

Лемма 3. *(Точные формулы для обобщенной суммы Клоостермана). Пусть p – нечетное простое число и $K_p\left(p^\alpha,-h,0\right)=\sum\limits_{\substack{l=1\\(l,p^\alpha)=1}}^{p^\alpha}\left(\frac{l}{p}\right)e^{-\frac{2\pi i hl}{p^\alpha}}$ – обобщенная сумма Клоостермана. Справедливы следующие утверждения:*

1. Пусть $(u,p)=1$, $\alpha>1$. Тогда

$$K_p(p,u,0)=\left(\frac{u}{p}\right)\varepsilon(p)\sqrt{p},\quad K_p\left(p^\alpha,u,0\right)=0.$$

2. Пусть $u=p^{\alpha_1}u_1$, $(u_1,p)=1$, $1<\alpha\le\alpha_1$, $s>1$. Тогда

$$K_p\left(p^\alpha,u,0\right)=0,$$

$$K_p\left(p^{\alpha_1+1},u,0\right)=p^{\alpha_1}\left(\frac{u_1}{p}\right)\varepsilon(p)\sqrt{p},$$

$$K_p\left(p^{\alpha_1+s},u,0\right)=0.$$

Доказательство. См. в [15].

Схема доказательства теоремы

1. Пусть $q=q_1\cdot q_2$. Покажем, что $\Phi\left(q_1\cdot q_2\right)=\Phi\left(q_1\right)\cdot\Phi\left(q_2\right)$.

Для сумм Гаусса справедливы равенства

$$G_i\left(q_1q_2,\pm l,\overline{0}\right)=G_i\left(q_1,\pm l_1,\overline{0}\right)G_i\left(q_2,\pm l_2,\overline{0}\right),$$

где $l=l_1\cdot q_2+l_2\cdot q_1$, $1\le l_1\le q_1$, $1\le l_2\le q_2$. Кроме того, $\sum\limits_{\substack{l=1,\\(l,q)=1}}^{q} e^{-2\pi i\frac{hl}{q}}=\sum\limits_{\substack{l_1=1\\(l_1,q_1)=1}}^{q_1} e^{-2\pi i\frac{hl_1}{q_1}}\cdot\sum\limits_{\substack{l_2=1\\(l_2,q_2)=1}}^{q_2} e^{-2\pi i\frac{hl_2}{q_2}}$, и мультипликативность доказана.

Следовательно, сумму особого ряда как сумму мультипликативной функции можно представить в виде

$$\sum_{q=1}^{+\infty}\Phi(q)=\prod_{p\backslash q}\left(1+\Phi(p)+\Phi\left(p^2\right)+\ldots\right).$$

2. Для доказательства положительности суммы особого ряда достаточно показать, что каждое произведение по простым делителям числа q принимает только положительные значения.

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

Функция $\Phi(p^{\alpha})$, где $\alpha \geq 1$, содержит произведения двойных сумм Гаусса, для которых будем использовать точные формулы из леммы 1. Так как данные формулы различаются в зависимости от того, будет ли дискриминант мнимого квадратичного поля делится на простое число, то необходимо отдельно рассмотреть случаи, когда простое число не делит дискриминанты мнимых квадратичных полей, делит один из них или делит оба дискриминанта.

Кроме того, после применения точных формул для сумм Гаусса в зависимости от перечисленных выше случаев возникает сумма Клоостермана или обощенная сумма Клоостремана, равенства для которых содержаться в леммах 2 и 3.

В соответствие с изложенными выше рассуждениями при доказательстве положительности произведений, входящих в разложение суммы особого ряда, необходимо выделить следующие случаи:

1. $p \nmid \delta_{F_1}$, $p \nmid \delta_{F_2}$ и $(h,p)=1$, тогда в разложение суммы особого ряда входит произведение $\prod\limits_{\substack{p \nmid \delta_{F_1} \\ p \nmid \delta_{F_2} \\ (h,p)=1}} \left(1 - \left(\frac{\delta_{F_1}\delta_{F_2}}{p}\right) p^{-2}\right)$.

Выражение, стоящее в скобках, больше $3/4$, если $\left(\frac{\delta_{F_1}\delta_{F_2}}{p}\right)=1$, и больше 1, если $\left(\frac{\delta_{F_1}\delta_{F_2}}{p}\right)=-1$.

2. $p \nmid \delta_{F_1}$, $p \nmid \delta_{F_2}$ и $h = p^{\alpha_1}h_1, (h_1,p)=1$, тогда получим следующее произведение:

$$\prod_{\substack{p \nmid \delta_{F_1} \\ p \nmid \delta_{F_2} \\ h=p^{\alpha_1}h_1 \\ (h_1,p)=1}} \left(1 + \left(\frac{\delta_{F_1}\delta_{F_2}}{p}\right)\frac{p-1}{p^2} + \ldots \right.$$

$$\left. \ldots + \left(\frac{\delta_{F_1}\delta_{F_2}}{p^{\alpha_1}}\right)\frac{p-1}{p^{\alpha_1+1}} - \left(\frac{\delta_{F_1}\delta_{F_2}}{p^{\alpha_1+1}}\right)\frac{1}{p^{\alpha_1+2}}\right).$$

Если $\left(\frac{\delta_{F_1}\delta_{F_2}}{p}\right)=1$, то в данной скобке происходит взаимное уничтожение слагаемых, в результате получаем $1 + \frac{p^{\alpha_1+1}-p-1}{p^{\alpha_1+2}} > 1$. Если $\left(\frac{\delta_{F_1}\delta_{F_2}}{p}\right)=-1$, то в данной скобке содержится геометрическая прогрессия со знаменателем $-1/p$: $1 + \frac{p^{\alpha+1} - p^{\alpha+2} + (-1)^{\alpha}(p^2+1)}{p^{\alpha+2}(p+1)} > 5/8$.

3-4. $p \mid \delta_{F_1}$, $p \nmid \delta_{F_2}$ и $(h,p)=1$, тогда $\prod\limits_{\substack{p \mid \delta_{F_1} \\ p \nmid \delta_{F_2} \\ (h,p)=1}} \left(1 + \left(\frac{-a_1 h \delta_{F_2}}{p}\right)\frac{\varepsilon^2(p)}{p}\right)$. Выражение в скобках больше 1, если $\varepsilon^2(p)\left(\frac{-a_1 h \delta_{F_2}}{p}\right)=1$, и больше $1/2$, если $\varepsilon^2(p)\left(\frac{-a_1 h \delta_{F_2}}{p}\right)=-1$.

Если $p \nmid \delta_{F_1}$, $p \mid \delta_{F_2}$ и $(h,p)=1$, то получаем похожее произведение и аналогичные оценки выражения, стоящего в скобках.

5. $p \mid \delta_{F_1}$, $p \mid \delta_{F_2}$ и $(h,p)=1$. Получим следующее произведение: $\prod\limits_{\substack{p \mid \delta_{F_1} \\ p \mid \delta_{F_2} \\ (h,p)=1}} \left(1 - \varepsilon^2(p)\left(\frac{-a_1 a_2}{p}\right)p^{-1}\right)$. Выражение в скобках больше 1/2, если $\varepsilon^2(p)\left(\frac{-a_1 a_2}{p}\right)=1$, и больше 1, если $\varepsilon^2(p)\left(\frac{-a_1 a_2}{p}\right)=-1$.

6-7. $p \mid \delta_{F_1}$, $p \nmid \delta_{F_2}$ и $h = p^{\alpha_1}h_1, (h_1,p)=1$, тогда получим следующее произведение:

$$\prod_{\substack{p \mid \delta_{F_1} \\ p \nmid \delta_{F_2} \\ h=p^{\alpha_1}h_1 \\ (h_1,p)=1}} \left(1 + \frac{\varepsilon^2(p)\left(\frac{-a_1 h_1}{p}\right)\left(\frac{D_1/p}{p^{\alpha_1}}\right)\left(\frac{\delta_{F_2}}{p^{\alpha_1+1}}\right)}{p^{\alpha_1+1}}\right).$$

Если $\varepsilon^2(p)\left(\frac{-a_1 h_1}{p}\right)\left(\frac{D_1/p}{p^{\alpha_1}}\right)\left(\frac{\delta_{F_2}}{p^{\alpha_1+1}}\right)=1$, то выражение в скобках больше 1. Если $\varepsilon^2(p)\left(\frac{-a_1 h_1}{p}\right)\left(\frac{D_1/p}{p^{\alpha_1}}\right)\left(\frac{\delta_{F_2}}{p^{\alpha_1+1}}\right)=-1$, то выражение в скобках больше 3/4.

Если $p \nmid \delta_{F_1}$, $p \mid \delta_{F_2}$ и $h = p^{\alpha_1}h_1, (h_1,p)=1$, то получаем похожее произведение и аналогичные оценки выражения, стоящего в скобках.

8. $p \mid \delta_{F_1}$, $p \mid \delta_{F_2}$ и $h = p^{\alpha_1}h_1, (h_1,p)=1$. В данном случае получаем достаточно громоздкое выражение для суммы $1 + \Phi(p) + \Phi(p^2) + \ldots$. После некоторых преобразований, можем доказать положительность исследуемого выражения.

Так как были учтены все возможные случаи и в каждом из них показана положительность, то теорема доказана.

Куртова Л.Н.
Донецкий национальный технический университет

Заключение

Был изучен особый ряд асимптотической формулы для числа решений уравнения с квадратичными формами разных дискриминантов и доказана положительность суммы особого ряда. Исследование основано на представлении мультипликативной функции в виде произведения по простым числам и применении точных формул для сумм Гаусса и Клоостермана.

Список литературы

1. Ingham A.E. Some asymptotic formulae in the theory of numbers. *Journal of the London Mathematical Society*, 1927, Vol. 2(7): 202–208.
2. Estermann T. Uber die Darstellung einer Zahl als Differenz von zwei Produkten. *Journal für die reine und angewandte Mathematik*, 1931, Vol. 164: 173–182.
3. Исмоилов Д.И. Об асимптотике представления чисел как разности двух произведений // Докл. АН Тадж. ССР, 1979, Т. 22, №2. – С. 75–79.
4. Estermann T. On Kloostermann's sum. *Mathematika*, 1961, 8: 83–86.
5. Heath-Brown D.R. The fourths power moment of the Riemann zeta-function. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 1979, V.38. no 3: 385–422.
6. Архипов Г.И., Чубариков В.Н. Об аддитивной проблеме делителей // Вестник Московского университета. Серия 1. Математика. Механика, 2006, №5. – С. 32 – 35.
7. Кузнецов Н.В. Гипотеза Петерсона для параболических форм веса нуль и гипотеза Линника. Суммы сумм Клоостермана // Матем. сб., 1980, Т. 111(153), №3. – С. 334–383.
8. Deshouillers J.-M., Iwaniec H. An additive divisor problem. *Journal of the London Mathematical Society*, 1982, 26(2): 1–14.
9. Куртова Л.Н. Об одной бинарной аддитивной задаче с квадратичными формами // Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия. Математика, 2007, №7(57). – С. 107–121.
10. Куртова Л.Н. О числе решений одного определенного уравнения с квадратичными формами // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Математика. Физика, 2013, №19(162), Вып. 32. – С. 67–77.
11. Куртова Л.Н. Об одном аналоге аддитивной проблемы делителей с квадратичными формами // Чебышевский сборник, 2014, Т. 15, Вып. 2. – С. 33–49.
12. Куртова Л.Н., Васильева Н.В. О числе решений уравнения с квадратичными формами разных дискриминантов // Материалы IV Междунар. научн. конф., Нальчик: ИПМА КБНЦ РАН, 2018. – С. 150.
13. Гриценко С.А. О функциональном уравнении одного арифметического ряда Дирихле // Чебышевский сборник, 2003, Т. 4, Вып. 2. – С. 53–67.
14. Пачев У.М., Дохов Р.А. О двойных суммах Гаусса, соответствующих классам идеалов мнимого квадратичного поля // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Математика. Физика. 2013, №19(162), Вып. 32. – С. 108–119.
15. Малышев А.В. О представлении целых чисел положительными квадратичными формами // Труды математического института им. В.А. Стеклова АН СССР, 1962, Т. 65. – С. 3–212.

References (transliteration)

1. Ingham A.E. Some asymptotic formulae in the theory of numbers. *Journal of the London Mathematical Society*, 1927, Vol. 2(7): 202–208.
2. Estermann T. Uber die Darstellung einer Zahl als Differenz von zwei Produkten. *Journal für die reine und angewandte Mathematik*, 1931 Vol. 164: 173–182.
3. Ismoilov D.I. Ob asimptotike predstavlenija chisel kak raznosti dvuh pro-izvedenij [On the asymptotics of the representation of numbers of the two product] // Dokl. AN Tadzh. SSR, 1979, Vol. 22, 2: 75 – 79. (in Russian).
4. Estermann T. On Kloostermann's sum. *Mathematika*, 1961, 8: 83–86.
5. Heath-Brown D.R. The fourths power moment of the Riemann zeta-function. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 1979, Vol. 38. no 3: 385–422.
6. Arkhipov G.I., Chubarikov V.N. On the Ingham additive divisor problem. *Univ. Math. Bull.*, 2006, 61(5): 33–36. (in Russian).
7. Kuznecov N.V. Gipoteza Petersona dlja parabolicheskih form vesa nul' i gipoteza Linnika. Summy summ Kloostermana [Petersson's conjecture for cusp forms of weight zero and Linnik's conjecture]. Matem. sb., 1980, Vol. 111(153), no 3: 334–383. (in Russian).
8. Deshouillers J.-M., Iwaniec H. An additive divisor problem. *Journal of the London Mathematical Society*, 1982, 26(2): 1–14.
9. Kurtova L.N. Ob odnoj binarnoj additivnoj zadache s kvadratichnymi formami [On a binary additive problem with quadratic forms]. *Vestnik SamSSU. Matematika*, 2007, 7(57): 107–121. (in Russian).
10. Kurtova L.N. O chisle reshenij odnogo opredelennogo uravnenija s kvadratichnymi formami [On the number of solutions to one particular equation with quadratic forms]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Matematika. Fizika*, 2013, no.19(162), Issue 32: 67–77. (in Russian).
11. Kurtova L.N. Ob odnom analoge additivnoj problemy delitelej s kvadratichnymi formami [About one analog of the additive divisor problem with quadratic forms]. Chebyshevskii Sb., 2014, 15(2): 33–49. (in Russian).
12. Kurtova L.N., Vasil'eva N.V. O chisle reshenij uravnenija s kvadratichnymi formami raznyh diskriminantov [On the number of solutions to

an equation with quadratic forms of different discriminants]. Materialy IV Mezhdunar. nauchn. konf., Nal'chik, IPMA KBNC RAN, 2018, p. 150. (in Russian).

13. Gritsenko S.A. O funkcional'nom uravnenii odnogo arifmeticheskogo rjada Dirihle [On the functional equation one of arithmetic Dirichlet series]. Chebyshevskii Sb., 2003, 4(2): 53–67. (in Russian).
14. Pachev U.M., Dohov R.A. O dvojnyh summah Gaussa, sootvetstvujushhih klassam idealov mnimogo kvadratichnogo polja [On double Gauss sums corresponding to classes of ideals of an imaginary quadratic field]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Matematika. Fizika*, 2013, no.19(162), Issue 32: 108–119. (in Russian).
15. Malyshev A.V. O predstavlenii celyh chisel polozhitel'nymi kvadratichnymi formami [On the representation of integers by positive quadratic forms]. Trudy matematicheskogo instituta im. V.A. Steklova AN SSSR, 1962, Vol. 65: 3–212. (in Russian).

***Куртова Л.М.* «Дослідження особливого ряду в задачі про кількість рішень рівняння з квадратичними формами».** *У теорії чисел важливу роль відіграють адитивні задачі. Однією з них є проблема дільників Інгама. Розглядається бінарна адитивна задача з квадратичними формами, яка є аналогом класичної проблеми дільників. У роботі наведено результати вивчення головного члена асимптотичної формули для числа рішень рівняння, яке містить бінарні позитивно певні примітивні квадратичні форми, відповідні класам ідеалів двох уявних квадратичних полів різних дискримінант. Головний член асимптотичної формули являє собою суму особливого ряду, що містить добуток подвійних сум Гаусса. Проводиться доказ позитивності суми особливого ряду, який засновано на тому, що особливий ряд є мультиплікативною функцією. Тоді його сума може бути представлена у вигляді добутків за простими дільниками. З використанням точних формул для подвійних сум Гауса, суми Клоостермана та узагальненої суми Клоостермана від ступеня простого числа показана позитивність кожного з добутків, що входять в розкладання.*

Ключові слова: адитивні задачі, асимптотична формула, представлення головного члена, сума Клоостермана, подвійна сума Гауса.

Kurtova L.N. "The study of a special series in the problem of the number of solutions of an equation with quadratic forms". *In the number theory additive problems is very important. The solution to these problems is concluding to find asymptotic formula for the number of solutions of Diophantine equations. One of them is the Ingam binary additive divisor problem on the representation of natural number as the difference of product of numbers. In present paper one problem with quadratic forms is considered. This problem is analog of the Ingam binary additive divisor problem. The paper presents the results of studying the leading term of the asymptotic formula for the number of solutions of an equation containing binary positive definite primitive quadratic forms corresponding to the ideal classes of two imaginary quadratic fields of different discriminants. The main term of the asymptotic formula is the sum of a special series containing the product of Gaussian double sums. The proof of the positivity of the sum of a special series is carried out, which is based on the fact that the special series is a multiplicative function. Then the sum of a special series can be represented as a product by prime divisors of the number which a special series is summed. Since the exact formulas for Gaussian double sums differ depending on whether the discriminant of the imaginary quadratic field is divisible by a given prime number, it is necessary to separately consider cases when a prime number does not divide the discriminants of imaginary quadratic fields, divides one of them, or divides both discriminants. There were eight such cases. In each of them, after applying the exact formulas for Gaussian double sums, it is necessary to use exact formulas for the Kloosterman sum or for the generalized Kloosterman sum of the power of a prime number. Explicit expressions are presented for each of the eight possible case, and their positivity is proved.*

Keywords: additive problems, asymptotic formula, representation of the leading term, Kloosterman sum, Gaussian double sum.

Статья поступила в редакцию 10.10.2018
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.А. Гордоном

Ссылка для цитирования статьи
For citation

Куртова Л.Н. Исследование особого ряда в задаче о числе решений уравнения с квадратичными формами // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(14)–2(15). 2018. – С. 140–144.

Kurtova L.N. 2018. The study of a special series in the problem of the number of solutions of an equation with quadratic forms. *System analysis and information technology in environmental and social sciences,* no.1(14)–2(15): 140–144. (in Russian).

Раздел 4

Усовершенствование учебного процесса и методическое обеспечение

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

УДК 501

Прежде всего, учащийся должен быть убежден, что доказательства заслуживают того, чтобы их изучали, что они необходимы…
Цель юридического доказательства состоит в том, чтобы устранить сомнения – но именно такова и самая очевидная, и самая естественная цель математического доказательства…
Только математику-профессионалу… может доставить удовольствие формальное обоснование каждого шага длинной цепочки рассуждений.

Дж. Пойя

Необходимость математического образования для инженеров

Ковалева Л.А., Чернова О.В.
Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Kovaleva_L@bsu.edu.ru, chernova_olga@bsu.edu.ru

Ковалева Л.А., Чернова О.В. «Необходимость математического образования для инженеров». *Авторы полагают, что обучение математике невозможно заменить обучением ряду ее приложений и методов, не разъясняя сущности математических понятий и не учитывая внутреннюю логику самой математики. В противном случае подготовленные инженеры-специалисты могут оказаться бессильными при изучении новых конкретных явлений, так как будут лишены необходимой математической культуры, будут не приучены к рассмотрению абстрактных математических моделей. В статье освещаются проблемы серьезной математической подготовки для будущих инженеров, воспитания прикладной математической интуиции, подчеркивается роль отыскания решений в форме, приемлемой для приложений. Акцентируется внимание на роль упражнений, которые имитируют построение и исследование математической модели. Авторы надеются, что данная работа вызовет интерес не только тех, кто учит математике, но и тех, кто ее изучает или соприкасается с ней в своей деятельности.*

Ключевые слова: математическая модель, математическая подготовка инженеров, прикладная математическая интуиция, прикладная математика.

Введение

Научно-технический прогресс и глубокие социально-экономические изменения, которые происходят в нашей стране, а также сложная структура экономики и конкуренция на рынке труда требуют расширения и значительного повышения качества подготовки современных инженеров-специалистов. Меняющийся характер труда, в котором все большую долю приобретает интеллектуальная составляющая, изменяет экономическую деятельность человека в современном обществе. Происходят колоссальные продвижения в области информации и новейших технологий. Все процессы активно воздействуют на образование и требуют качественного изменения области профессиональной деятельности выпускника ВУЗа.

Главная цель высших учебных заведений заключается в подготовке специалистов, готовых к постоянному саморазвитию и самосовершенствованию.

Исходя из этого в современной науке и технике необычайно большое число будущих экономистов, биологов, юристов и офицеров полиции, социологов, инженеров, организаторов современного производства и т.д. нуждается в серьезной математической подготовке, которая давала бы возможность с помощью математических методов исследовать широкий круг новых проблем, применять современную вычислительную технику и использовать теоретические достижения на практике. Чем богаче будет опыт применения математических знаний к решению прикладых задач, тем ярче он проявится в профессиональной деятельности будущего специалиста. Тем не менее приходится констатировать тот факт, что школьное математическое образование по большей части несовершенно и не дает выпускникам общеобразовательной школы фундаментальных знаний, что является определенным «тормозом» для продолжения вузовского математического образования на должном уровне.

С другой стороны, развитие отечественного высшего профессионального образования характеризуется чрезвычайно сложными, противоречивыми процессами: … сокращением аудиторных часов на изучение дисциплин математического цикла, что приводит к снижениею качества вузовского математического образования, а следовательно, уровня математической культуры обучающегося [1, с. 3].

О цели обучения математике

Само название «математика» происходит от греческого слова «матейн» (mathein) – учиться, познавать [2, с. 144]. Древние греки вообще считали, что понятия «математика» (mathematike) и «наука», «познание» (mathema) – синонимы. Вот что по этому поводу еще в XVI в. писал известный математик Рене Декарт: «К области математики относят науки, в которых рассматриваются либо порядок, либо мера и совершенно не существенно, будут ли это числа, фигуры, звезды, звуки или что-нибудь другое … таким образом, должна существовать некая общая наука, объясняющая все, относящееся к порядку и мере, не входя в исследование никаких частных предметов … » [3]. В настоящее время роль математики безусловно возрастает. И связано это прежде всего с тем, что по общему признанию, математика является элементом общечеловеческой культуры, она формирует интеллект обучаемого, расширяет его кругозор, является проверенным временем и наиболее действенным средством умственного развития. Математика, как область научного знания, отличается высоким уровнем эмпирического и теоретического обобщения, она позволяет осуществлять перенос математических знаний и методов на решение задач в области профессиональной инженерно-технической деятельности. Более того математика выступает как основа профессиональной культуры, ибо без нее невозможно изучение других, в том числе и профессионально значимых, дисциплин. Кроме того, математике отводится особая роль в становлении и развитии научного мировоззрения будущих специалистов инженерно-технического профиля.

Определение: *Целью при обучении математике является приобретение учащимся определенного круга знаний, умения использовать изученные математические методы, развитие математической интуиции, воспитание математической культуры* [4, с. 54].

Современный научный работник или инженер должен в достаточной степени хорошо владеть как классическими, так и современными методами исследования, которые могут применяться в его области. Для того чтобы иметь возможности с успехом использовать математические методы при изучении того или иного вопроса, нужно, конечно, иметь прежде всего необходимые для этого знания, уметь правильно обращаться с математическим аппаратом, знать границы допустимого использования рассматриваемой математической модели. Это утверждение кажется очевидным, однако то, что происходит в реальной жизни, далеко не всегда согласуется с ним.

Все чаще можно слышать, что математика не нужна. И это типичное заблуждение. Еще М.В. Ломоносов писал: «Математику уже затем учить надо, что она ум в порядок приводит». Воспитание привычки думать и умения правильно рассуждать, причем не только при решении задач математического характера, – одна из важнейших целей курса математики [5, с. 42]. Кроме того, систематическое изучение математики развивает такие черты характера как усидчивость, сосредоточенность, настойчивость, целеустремленность, т.е. личностные качества человека. Хотя, справедливости ради, надо добавить, что эти вышеперечисленные качества надо развивать в школьные годы. «Кто пропитался с детства математикой в такой мере, что усвоил себе ее неопровержимые доказательства, тот так подготовлен к восприятию истины, что нелегко допустит какую-нибудь фальшь», – говорит П. Гассенди [3]. Математическое образование готовит обучаемого к адекватному восприятию реальной жизни. «Знакомство с математикой учит отличать правильное рассуждение от неправильного. А без этого умения человеческое сообщество превращается в легко управляемое демагогами стадо... Математическая безграмотность губительнее костров инквизиции», – предупреждал академик В. И. Арнольд [6].

К сожалению, в настоящее время определенной тенденцией является то, что все большее количество обучающихся при изучении математики ограничивается только мыслями об аттестате. Поэтому время, проведенное на курсах математики, ими потрачено совершенно впустую. Так не лучше ли потратить на математику свое время и силы с максимальной для себя пользой, если уж этот предмет является основным даже для гуманитариев? Бесспорно, математика всегда считалась одним из самых трудных предметов. Нельзя усвоить знания по этому предмету без серьезных интеллектуальных усилий, нужно понимать и запоминать правила, держать эти знания в активной памяти на протяжении всего обучения в школе. На сегодняшний день традиционный стиль преподавания математики – аксиоматически-логический, и он неприемлем подавляющему большинству обучающихся. На наш взгляд это и есть основная причина падения качества математического образования. Тем не менее изменить отношение к математике и повысить интерес к ее изучению можно, изменив стиль ее преподавания. Для этого следует стремиться к наглядности, доступности в изложении материала, стараться приводить большое число разнообразных примеров и использовать геометрические иллюстрации, а также включать в лекционный курс интересные сведения из истории математики [7]. Надо сделать математику доступной и, как следствие, интересной.

Как показывает наш личный опыт преподавания математики в гуманитарных и технических ВУЗах, вполне реально преподавать эту науку так, чтобы студенты стали говорить: «Нам это интересно!».

Конечно курс математики для инженеров в настоящее время обязан учитывать современное интенсивное развитие разветвленной системы идей, понятий и методов, лежащих в основе приложений математики. Очевидно, что в процессе деятельности усвоения математических знаний студенты запоминают не только формулы, но и приемы их обоснования.

Как известно, в практической деятельности инженера математические знания используются не в виде готовых формул, а в виде реализации тех идей, которые лежат в основе обоснования той или иной формулы [2, с. 143].

Необходимо подчеркивать, что конечной целью прикладного математического исследования является не создание абстрактной логической схемы, а эффективное решение вопроса, лежащего за пределами математики. Для этого должны применятся любые разумные средства: *все методы существенного приближения к истине достойны уважения!* [5, с. 42]. В результате приобретенных в процессе обучения математических знаний у учащегося появляется то, что обычно называется *математической культурой*. Ее уровень после завершения обучения в ВУЗе должен обеспечить умение разбираться в математических методах, необходимых для работы по специальности, но не изучавшихся в вузе, умение читать нужную для этого литературу, умение самостоятельно продолжать свое математическое образование. Достаточно глубокое математическое образование способствует также и повышению мотивации изучения специальных технических дисциплин, где математика становится инструментом открытия «нового», позволяет осуществлять творческий процесс разработки новой техники и технологий на качественно более высоком уровне. Отметим, что анализу процесса математического творчества и использования математических методов при решении задач посвящено много интересных исследований [8–14].

Подводя небольшой итог, отметим, что на наш взгляд преподавание математики в ВУЗах должно быть подчинено следующим целям:

- ознакомить обучающихся с основными теоретическими сведениями, которые будут им необходимы для изучения общенаучных, общеинженерных и специальных дисциплин;
- развить логическое и алгоритмическое мышление;
- обучить студентов соответствующему математическому аппарату;
- выработать первичные навыки математического исследования прикладных вопросов;
- выработать умение самостоятельно разбираться в математическом аппарате, применяемом в литературе, связанной со специальностью студента;
- воспитать у студентов прикладную математическую культуру;
- познакомить обучающихся с ролью математики в современной жизни и особенно в современной технике.

К сожалению, в нынешних условиях ослабления школьной подготовки и постоянной борьбы кафедр против сокращения часов, отводимых на курс математики, все вышеперечисленные цели имеют лишь ориентировочный характер. *Но и этот ориентир просто необходим!*

О воспитании математической интуиции

Математически образованным можно называть инженера, который не только свободно разбирается в математическом аппарате, содержащемся в литературе по его специальности, и умеет доводить решение реальных математических задач до приемлемых результатов, но также обладает верной математической интуицией, т.е. прямым видением «грубого» содержания и связей соответствующих математических идей, понятий, утверждений и методов, роли типичных и особенных случаев и т.п. [2, с. 40] Математика призвана сформировать у обучаемого представление о ней не как о сборнике практических рецептов, а как о логически стройной системе знаний, дедуктивной науке, в которой «огромное число содержательных результатов выводится логическим путем из ничтожно малого числа исходных положений» (Р. Курант) [15].

Разумеется, математическая интуиция как способность к непосредственному усмотрению математической истины развивается постепенно и вырабатывается только в процессе накопления опыта. Несомненно, соотношение рационального и интуитивного в деятельности исследователя существенно меняется с приобретением опыта. Истина, к которой начинающий исследователь приходит лишь после цепи рассуждений, исследователю со стажем может быть видна сразу (не зря шутят: «информация – мать интуиции»). Время, необходимое исследователю на постижение истин некоторого определенного уровня сложности, постепенно сокращается, т.е. растет «рациональное быстродействие» исследователя; когда оно становится практически не замечаемым, можно говорить о сформированной математической интуиции. Воспитание правильной интуиции не должно противоречить усвоению основ математики и развитию логического мышления. Однако последнее вовсе не означает, как иногда полагают, что нужно акцентировать внимание на теории пределов и других сходных вопросах.

Логическое мышление инженера следует развивать на материале, имеющем отчетливое прикладное значение! [5, с. 42].

Методы рассуждения

Напомним, что рассуждение есть последовательность умозаключений, причем посылками последующих умозаключений служат следствия предыдущих умозаключений данной последовательности. В прикладной математике рациональные рассуждения имеют не меньшее значение, чем дедуктивные. Первые включают последние как предельный случай и потому находятся в некотором смысле на более высокой ступени, причем более трудны для усвоения. Поэтому вводить методы рациональных рассуждений нужно постепенно, тактично, исходя из достаточно прочных (но не чрезмерных!) дедуктивных, порой формальных основ, подробно разъясняя на примерах смысл практической сходимости, практической достоверности, проверки в типичных условиях и других действий в случаях, когда применение «точных» теорем невозможно или нецелесообразно. Таким образом, на начальной стадии обучения (а также в некоторых специфических областях, таких, например, как линейная алгебра) удельный вес дедуктивных рассуждений, естественно, должен быть сравнительно высоким. Однако и здесь наглядность изложения, нацеленность на главное, раскрытие неформального смысла понятий подготавливают последующее введение рациональных рассуждений. Чтобы немного сгладить переход от курса математики к специальным дисциплинам, необходимо уже в классических разделах трактовку понятий приближать к той, которая дается в прикладной математике. Для этого, конечно, сами преподаватели математики должны иметь достаточное представление о прикладной точке зрения на математические сущности.

Например, надо чаще выдвигать и иллюстрировать тезисы, что интеграл – это сумма бесконечно большого числа бесконечно малых слагаемых; дифференциал – это элемент, бесконечно малое приращение величины; дельта-функция – это функция с локализованным на бесконечно малом интервале бесконечно большим значением и интегралом, равным единице и т.п.

Следует по возможности чаще употреблять эти термины, приучать студентов правильно ими пользоваться, так как их вульгаризация может привести к ошибкам [5, с. 43].

Нельзя не упомянуть тот факт, что до сих пор среди преподавателей вызывают дискуссию вопросы, связанные с выбором уровня строгости изложения, и в частности о формальной полноте формулировок и доказательств. Некоторые придерживаются такого мнения: если доказательство на уровне чистой математики недоступно студентам, то соответствующие факты надо приводить без доказательства и даже без объяснений. С нашей точки зрения такой подход совершенно неправильный.

Стремление заменить углубленное прохождение материала поверхностным знакомством с ним, пренебрежение к преодолению принципиальных трудностей, которые необходимо преодолеть для приобретения профессиональных знаний, и замена главных путей побочными, не ведущими к той же цели, а приводящими к качественно более низкому уровню обучения, является одной из очень вредных тенденций, возникающих в системе высшего образования [4, с. 78].

Доказательство – это убедительное объяснение справедливости того или иного утверждения (см. эпиграф к статье); но содержание понятия убедительности различно для различных слоев людей! Вряд ли существуют такие полезные для приложений математические факты, которые нельзя было бы убедительно объяснить инженеру. При этом формально полное доказательство, убедительное для чистого математика, далеко не всегда будет убедительным для инженера.

Таким образом, и доказательства (которые, конечно, необходимы!) следует выбирать такими, чтобы они правильно воспитывали прикладную

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

математическую интуицию, наиболее убедительно на выбранном уровне изложения демонстрируя причины и взаимосвязи фактов [5, с. 44]. Напоследок приведем высказывание А. Пуанкаре, относящиеся к особенностям стиля и уровня строгости преподавания математики для инженеров [16, с. 359]: «Главная цель обучения математике – это развить известные способности ума, а между этими способностями интуиция отнюдь не является наименее ценной. Благодаря ей мир математических образов остается в соприкосновении с реальным миром; и если чистая математика может обойтись без нее, то она всегда необходима, чтобы заполнить пропасть, которая отделяет символы от реального мира. К ней будет постоянно обращаться практик, а ведь на одного чистого геометра (математика – прим. авт.) приходится сто практиков. Инженер должен получить полное математическое образование, но для чего оно ему? Для того, чтобы видеть различные стороны вещей, видеть их быстро. У него нет времени гоняться за мелочами. В сложных физических предметах, которые представляются его взору, он должен быстро найти точку, к которой могут быть приложены данные ему в руки математические орудия. Как бы он это делал, если бы между предметами и орудиями оставалась та пропасть, которую вырыли логики?».

О роли упражнений

Стоит отметить, что для обучающихся высших учебных заведений определенные навыки формальных выкладок действительно необходимы.

Так, например, студент обязан уметь: вычислять производные и достаточно простые интегралы, составлять, используя описательные данные задач, уравнения прямых, плоскостей и кривых, проверять линейную зависимость, независимость векторов, интегрировать дифференциальные уравнения основных типов и т.д. Зачастую тренировка в формальных выкладках занимает больше место, чем должна.

Особенно это относится к практическим занятиям и домашним заданиям, где основное внимание порой уделяется упражнениям, либо концентрирующимся вокруг немногих, в значительной степени потерявших свое значение формальных типов, либо связанных с непосредственной подстановкой в формулы; подавляющее большинство таких задач по духу, направленности имеют мало общего с «работающей» математикой [5, с. 48].

На наш взгляд необходимо уделять как можно больше внимания тем упражнениям, которые хоть и упрощенно, но имитируют действия, реально совершаемые в прикладном математическом исследовании. Сама постановка задачи и ее направленность должны напоминать то, что может непосредственно возникнуть в прикладном исследовании. Поэтому не менее актуальной проблемой является создание серии задачников (как общих, так и по отдельным областям математики, и по группам родственных инженерных специальностей), которые дали бы достаточный материал для подобных упражнений.

Обобщая все вышесказанное, отметим, что для развития прикладных математических навыков при подборе упражнений необходимое внимание надо, в частности, уделить: целеустремленному составлению и анализу математических моделей реальных задач и развитию соответствующей интуиции на доступном студентам материале; отбору данных, нужных для решения задачи, а также «прикидке» их необходимой точности; выбору заранее не заданного метода исследования; задачам, требующим для своего решения предварительного вывода аналитических зависимостей; задачам, требующим для своего решения знаний из различных разделов курса; доведению решения задач до практически приемлемого результата; изучению зависимости решения от параметров, входящих в задачу, или от вариантов ее постановки; «прикидкам», оценкам порядка величин, асимптотическим формулам и асимптотическим оценкам; применению справочников, таблиц, инженерного калькулятора, а в необходимых случаях – компьютера; действиям с размерными величинами; методам контроля правильности решения.

Заключение

Напоследок хочется обратиться к достаточно серьезному вопросу: как надо реагировать на широкое распространение математических программных пакетов типа Genius, Mathematica, MatCad, Maple и т.п., с помощью которых можно за доли секунды точно или приближенно вычислять производные и интегралы, находить решения дифференциальных уравнений и т.п., то есть осуществлять почти все действия, которым мы обучаем студентов на практических занятиях. Понятно, что реагировать на изменившуюся ситуацию необходимо, хотя сделать это далеко не просто. Мы стоим перед коренным переворотом в преподавании математики прикладным специальностям, и, в частности, инженерам. Кроме того, эта новая ситуация требует и новых учебников, и задачников, написанных и составленных с ее учетом.

Несомненно, основы общей теории изучаемых разделов математики должны сохраниться, как и простые, не громоздкие упражнения алгоритмического характера – простые производные, интегралы, решения дифференциальных уравнений и т.п. Но центр тяжести упражнений должен перемещаться в сторону текстовых задач, связанных с *пониманием* смысла рассматриваемых математических объектов – дифференциалов, интегралов и т.п., умением с ними общаться. Такие задачи могут опираться на простые понятия геометрии, механики, физики и других областей. От студентов надо требовать умения составить и провести простейшее исследование математической модели в наиболее простых ситуациях.

Список литературы

1. Акманова З.С. Развитие математической культуры студентов университетов в процессе профессиональной подготовки: автореф. дисс. канд. пед. наук. – Магнитогорск, 2005. – 22 с.
2. Дорофеев С.Н., Давыдова Н.В., Пильщикова И.Ю. Гуманитаризация математического образования как фактор повышения качества подготовки будущих инженеров // Изв. ВУЗ. Поволжский регион. Гум. науки. Пенза. 2010, №2(14). – С. 143–152.
3. Хрестоматия по истории математики: уч. пос. для студ. физ.-мат. пед. ин-тов / под ред. А.П. Юшкевича. – М.: Просвещение, 1976. – 318 с.
4. Кудрявцев Л.Д. Мысли о современной математике и её изучении. – М.: Наука, 1977. – 112 с.
5. Мышкис А.Д. О преподавании математики прикладникам // Математика в высшем образовании, №1. 2003. – С. 37–52.
6. Арнольд В.И. Математика с человеческим лицом // Природа, №3. 1988. – С. 23–27.
7. Клейн Ф. Элементарная математика с точки зрения высшей. В 2 томах: пер. с нем. Ф. Клейн; под ред. В.Г. Болтянского. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1987. Т. 1: Арифметика. Алгебра. Анализ. – 432 с.
8. Адамар Ж. Исследование психологии процесса изобретения в области математики. – М.: Сов. рад., 1970. – 152 с.
9. Александров П.С. Мир ученого // Наука и жизнь, №8. 1974. – С. 2–9.
10. Колмогоров А.Н. О профессии математика. – М.: изд-во Московского ун-та, 1988. – 32 с.
11. Литтлвуд Дж. Математическая смесь. – М.: Наука, 1965. – 152 с.
12. Пойа Дж. Математика и правдоподобные рассуждения. – М.: Наука, 1975. – 464 с.
13. Пойа Дж. Математическое открытие. – М.: Наука, 1976. – 448 с.
14. Постников А.Г. Культура занятий математикой. – М.: Знание, 1975. – 64 с.
15. Гнеденко Б.В. Математическое образование вузах: Уч.-метод. пос. – М.: Вс. шк., 1981. – 174 с.
16. Пуанкаре А. О науке. – М.: Наука. 1983. – 560 с.

References (transliteration)

1. Akmanova Z.S. Razvitie matematicheskoj kul'tury studentov universitetov v processe professional'noj podgotovki: avtoref. diss. kand. ped. nauk [The development of the mathematical culture of university students in the process of vocational training: author. diss. cand. ped. sciences]. Magnitogorsk, 2005, 22 p. (in Russian).
2. Dorofeev S.N., Davydova N.V., Pil'shhikova I.J. 2010. Gumanitarizacija matematicheskogo obrazovanija kak faktor povyshenija kachestva podgotovki budushhih inzhenerov [The humanization of mathematical education as a factor in improving the quality of training of future engineers]. *Izv. vyssh. ucheb. zavedenij. Povolzhskij region. Gumanit. nauki*. Penza, no. 2(14): 143–152. (in Russian).
3. Khrestomatiya po istorii matematiki [A textbook on the history of mathematics]: uch. pos. dlya stud. fiz.-mat. ped. in-tov / pod red. A.P. Yushkevicha. Moscow, Prosveshcheniye, 1976, 318 p. (in Russian).
4. Kudrjavcev L.D. Mysli o sovremennoj matematike i ejo izuchenii [Thoughts on modern mathematics and its study]. Moscow, Nauka, 1977, 112 p. (in Russian).
5. Myshkis A.D. 2003. O prepodavanii matematiki prikladnikam [About teaching mathematics to applied scientists]. *Matematika v vysshem obrazovanii,* no. 1: 37–52. (in Russian).
6. Arnol'd V.I. 1988. Matematika s chelovecheskim licom [Math with a human face]. *Priroda*, no.3: 23–27. (in Russian).
7. Klejn F. Jelementarnaja matematika s tochki zrenija vysshej [Elementary mathematics in terms of higher]. V 2 t.: per. s nem. F. Klejn; pod red. V.G. Boltjanskogo. Moscow, Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit. 1987. Vol. 1: Arifmetika. Algebra. Analiz, 432 p. (in Russian).
8. Adamar Z. Issledovanie psihologii processa izobretenija v oblasti matematiki [The study of the psychology of the invention process in the field of mathematics]. Moscow, Sov. rad. 1970, 152 p. (in Russian).
9. Aleksandrov P.S. 1974. Mir uchenogo [Scientist World]. *Nauka i zhizn'*, no.8.: 2–9. (in Russian).
10. Kolmogorov A.N. O professii matematika [About the profession of mathematics]. Moscow, izd-vo Moskovskogo un-ta, 1988, 32 p. (in Russian).
11. Littlvud Dzh. Matematicheskaja smes' [Math mix]. Moscow, Nauka. 1965, 152 p. (in Russian).
12. Poja Dzh. Matematika i pravdopodobnye rassuzhdenija [Mathematics and plausible reasoning]. Moscow, Nauka. 1975, 464 p. (in Russian).
13. Poja Dzh. Matematicheskoe otkrytie [Mathematical discovery]. Moscow, Nauka. 1976, 448 p. (in Russian).
14. Postnikov A.G. Kul'tura zanjatij matematikoj [Maths Culture]. Moscow, Znanie. 1975, 64 p. (in Russian).

15. Gnedenko B.V. Matematicheskoe obrazovanie vuzah [Mathematical education universities] Ucheb.-metod. posobie. Moscow, Vyssh. shkola, 1981, 174 p. (in Russian).
16. Puankare A. O nauke [About science]. Moscow, Nauka. 1983, 560 p. (in Russian).

Ковальова Л.О., Чернова О.В. «Необхідність математичної освіти для інженерів». *Автори вважають, що навчання математиці неможливо замінити навчанням низки її додатків і методів, не роз'яснюючи суті математичних понять і не враховуючи внутрішню логіку самої математики. В іншому випадку підготовлені інженери-фахівці можуть виявитися безсилими при вивченні нових конкретних явищ, бо будуть позбавлені необхідної математичної культури, будуть не привченими до розгляду абстрактних математичних моделей. В статті висвітлюються проблеми серйозної математичної підготовки для майбутніх інженерів, виховання прикладної математичної інтуїції, підкреслюється роль відшукання рішень в формі, яка прийнятна для додатків. Акцентується увага на роль вправ, які імітують побудову та дослідження математичної моделі. Автори сподіваються, що дана робота викличе інтерес не тільки тих, хто вчить математиці, а й тих, хто її вивчає або стикається з нею в своєї діяльності.*

Ключові слова: математична модель, математична підготовка інженерів, прикладна математична інтуїція, прикладна математика.

Kovaleva L.A., Chernova O.B. “The need for math education for engineers” *The authors believe that teaching mathematics cannot be replaced by teaching a number of its applications and methods without explaining the essence of mathematical concepts and without taking into account the internal logic of mathematics itself. Otherwise, trained specialist engineers may be powerless when studying new specific phenomena, as they will be deprived of the necessary mathematical culture, they will not be accustomed to consider abstract mathematical models. The main goal of higher education institutions is to prepare specialists who are ready for continuous self-development and self-improvement. The problems of serious mathematical training for future engineers, the education of applied mathematical intuition are highlighted, the role of finding solutions in a form acceptable for applications is emphasized. The richer the experience of applying mathematical knowledge to solving applied problems, the brighter it will manifest itself in the professional activities of a future specialist. Note that at present the role of mathematics is certainly growing. And this is primarily due to the fact that, admittedly, mathematics is an element of universal human culture, it forms the learner’s intellect, broadens his horizons, is a tested time and the most effective means of mental development. Note that the course of mathematics for engineers must take into account the modern intensive development of an extensive system of ideas, concepts and methods underlying the applications of mathematics. Also in this work highlights the role of exercises that simulate the construction and study of a mathematical model is discussed. The authors hope that this work will arouse the interest not only of those who teach mathematics, but also of those who study it or come into contact with it in their work.*

Keywords: Mathematical Model, Mathematical Ttraining of Engineers, Applied Mathematical Intuition, Applied Mathematics.

Статья поступила в редакцию 03.12.2018
Рекомендована к публикации канд. техн. наук А.В. Звягинцевой

Ссылка для цитирования статьи
For citation

Ковалева Л.А., Чернова О.В. Необходимость математического образования для инженеров // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(14)–2(15). 2018. – С. 146–152.

Kovaleva L.A., Chernova O.B. 2018. The need for math education for engineers. *System analysis and information technology in environmental and social sciences,* no.1(14)–2(15): 146–152. (in Russian).

Памяти коллеги

С глубокой скорбью сообщаем, что 28 августа 2018 г. на 67 году жизни скоропостижно ушел из жизни

Андрюхин Александр Иванович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Программная инженерия» Донецкого национального технического университета, прирожденный педагог, много лет и сил отдавший студентам, известный специалист в области системного анализа и проектирования вычислительных систем и один из постоянных авторов нашего журнала.

Биография

Андрюхин Александр Иванович родился 14 мая 1951 года в городе Жданове Донецкой области (ныне город Мариуполь). Среднюю школу окончил в 1968 году с золотой медалью, в 1973 году окончил Донецкий государственный университет (ДонГУ) по специальности «Математика».

Трудовую деятельность начал на Мариупольском металлургическом заводе «Азовсталь» в должности инженера лаборатории исследования и математического описания технологических процессов. В течение 1973–1984 годов работал на инженерных должностях в отделе автоматизированного управления завода «Азовсталь».

С 1984 года Андрюхин А.И. работает в Институте прикладной математики и механики НАН Украины (ИПММ, г. Донецк). В течение 1984–1997 годов прошел трудовой путь от старшего инженера до старшего научного сотрудника отдела теории управляющих систем. В 1993 году Александр Иванович Андрюхин под руководством проф. Д.В. Сперанского защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук на стыке смежных специальностей 03.13.13 «Вычислительные машины, системы и сети» и 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации». Диссертация была защищена в Харьковском институте радиоэлектроники. В 1996 году получил ученое знание старшего научного сотрудника.

С 1997 Александр Иванович работает в научно-исследовательском институте проблем искусственного интеллекта (ИПИИ, г. Донецк) в должности доцента кафедры «Проблем искусственного интеллекта». В 1998 году Андрюхин А.И. назначен проректором по научной работе Донецкого государственного института искусственного интеллекта (ДГИИИ) и возглавил кафедру «Робототехники и интеллектуальных систем» этого института.

С 1999 по 2018 годы работал доцентом кафедры «Прикладной математики и информатики» (сейчас кафедра «Программной инженерии», http://donntu.org/fknt/prikladnaya-matematika-i-informatika) Донецкого национального технического университета (ДонНТУ). Работая на кафедре, Александр Иванович читал курсы:

- системный анализ;

- математические основы представления знаний;
- функциональное и логическое программирование;
- высшая математика.

Являлся одним из основателей, ученым секретарем и редактором журнала «Информатика и кибернетика», издаваемого в ДонНТУ.

Научные труды

Научные работы Александра Ивановича Андрюхина посвящены решению задач моделирования и проектирования вычислительных систем методами искусственного интеллекта и теории системного анализа. Среди основных трудов можно выделить следующие.

Монография:

- Андрюхин А.И. Моделирование и диагностирование дискретных устройств на переключательном уровне. Донецк, ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. – 258 с.

Статьи:

- Andryukhin A.I. Parallel Logic Simulation of MOS-Structures at the Switching Level // Engineering Simulation, 1997, Vol. 14: 325–332.
- Andryukhin A.I. Concurrent Simulation of Healthy and Faulty Pseudo-boolean Circuits // Engineering Simulation, 1998, Vol. 15: 63–68.
- Andryukhin A.I. Time Optimization for Test Generation // Engineering Simulation, 1997, Vol. 14: 823–825.
- Andryukhin A.I. Implementation of Compilation Logic Modeling with Delays // Engineering Simulation, 1995, Vol. 13: 115–122.
- Андрюхин А.И. Надежность избыточного синхронизатора при метастабильных состояниях его компонентов // Проблемы управления и информатики. 1998. № 3. – С. 119–123.
- Андрюхин А.И. Задачи синхронизации дискретных устройств // Управляющие системы и машины. 1998, № 6. – С. 36–41.
- Андрюхин А.И. Оптимизация времени построения тестов // Электронное моделирование. 1996, № 5. – С. 71–72.
- Андрюхин А.И. Управляемость и наблюдаемость класса дискретных схем // Искусственный интеллект. 1999. № 1. – С. 18–24.
- Андрюхин А.И. О прогнозе характеристик случайного теста // Теория систем и вычислительные методы. К.: ИК АН УССР. 1987. – С. 56–60.

Александр Иванович всегда отличался большой научной эрудицией, позитивным жизненным настроем и доброжелательностью в общении с коллегами и студентами.

Светлая память об Александре Ивановиче навсегда останется в наших сердцах.

Сотрудники, друзья факультета компьютерных наук и технологий ДонНТУ, коллеги Института прикладной математики и механики, члены редколлегии журнала САИТ

Сведения об авторах на русском языке

Аверин Геннадий Викторович, д.т.н., проф. В 1980 году закончил Николаевский кораблестроительный институт им. адмирала С.О. Макарова, по квалификации инженер-механик. В 1994 году защитил докторскую диссертацию, с 2005 года профессор по кафедре компьютерных систем мониторинга. Ведет преподавательскую деятельность в Донецком национальном техническом университете и Белгородском государственном национальном исследовательском университете. Является автором более 150 публикаций, 15 монографий и учебных пособий. Область научных интересов: системный анализ и прикладная теория систем, междисциплинарные исследования в области ноотехносферы и социо-гуманитарных наук, комплексная оценка природно-антропогенных систем, теория опасности и риска, интеллектуальный и многомерный анализ эмпирических данных, информационные системы в области экологической безопасности.

Аноприенко Александр Яковлевич, к.т.н., доц. В 1979 году закончил Донецкий политехнический институт, по квалификации инженер-системотехник. В 1987 году защитил кандидатскую диссертацию в Институте проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины (г. Киев). В 1989–1990 гг. прошёл 10-месячную научную стажировку по линии Немецкой службы академических обменов (DAAD) в Институте высокопроизводительных и распределенных суперЭВМ Штутгартского университета (Германия). С октября 2014 года по февраль 2015 года – и.о. ректора ДонНТУ. С 2015 года – заведующий кафедрой компьютерной инженерии ДонНТУ. Является автором более 300 публикаций и 7 монографий. Область научных интересов: интернет-технологии, компьютерное моделирование, закономерности развития и применения компьютерных технологий.

Беловодский Валерий Николаевич, к.т.н., доц. В 1971 году закончил факультет физико-математических и естественных наук Университета Дружбы народов им. П Лумумбы по специальности «Математика» (г. Москва), в 1982 году – аспирантуру Рижского политехнического института по специальности «Динамика, прочность машин, приборов и оборудования», с 2003 года – доцент кафедры компьютерных систем мониторинга Донецкого национального технического университета. Является автором более 100 научных работ, 8 авторских свидетельств на изобретения, монографии и нескольких учебников. Участвовал в ряде международных конференций по проблемам вибрации и теории машин и механизмов (Прага, Либерец, Лиссабон). Область научных интересов: моделирование, нелинейные динамические системы, временные ряды, фрактальное сжатие изображений, обучающие системы, реконструкция уравнений, математическое проектирование и фракталы.

Волошин Владимир Викторович, д. филос. н., доцент. В 1995 году зокончил Донецкий государственный университет. По квалификации историк, преподаватель истории. В 2013 защитил докторскую диссертацию в Институте философии НАН Украины. Тема диссертации: «Эпистемология религии: парадигмальные основания и познавательные стратегии». В 2015–2016 гг. – профессор кафедры теологии Псковского государственного университета. С 2016 года – профессор кафедры философии Донецкого национального университета. Является автором более 80 научных работ, в том числе нескольких монографий. Область научных интересов: онтология, эпистемология, история и философия науки, философия религии.

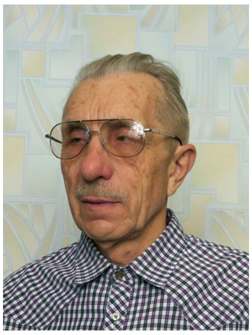
Достлев Юрий Сергеевич. Ведущий инженер, по совместительству старший преподаватель кафедры компьютерной инженерии факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета. Является автором около 40 научных работ. Область научных интересов: системы реального времени, исследование динамических характеристик параметров реальных объектов, создание компьютерных комплексов автоматизированного контроля и управления технологическими процессами. Научно-техническая деятельность: проектирование и исследование аппаратно-программных комплексов систем реального времени и систем автоматического управления технологическими процессами в различных областях.

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

Ерошенко Яна Борисовна. В 2013 году закончила федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ») по направлению подготовки «Математика и компьютерные науки». С 2016 года – старший преподаватель кафедры математического и программного обеспечения информационных систем Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ». Является автором 18 публикаций. Область научных интересов: системный анализ и теория систем, интеллектуальный анализ данных, экологический мониторинг, информационные системы в области охраны окружающей среды и глобалистики.

Ехилевский Степан Григорьевич, д.т.н., проф. В 1980 году закончил Донецкий государственный университет, по квалификации физик-преподаватель. В 1992 году защитил кандидатскую диссертацию, в 2003 – докторскую. С 1998 по 2004 годы – профессор Донецкого национального технического университета. С 2004 года – декан факультета информационных технологий Полоцкого государственного университета (Республика Беларусь). Является автором более 130 научных публикаций. Направления научных исследований: создание новых методов моделирования сорбционной активности регенеративных патронов изолирующих дыхательных аппаратов, совершенствование конструкций дыхательных аппаратов за счёт оптимизации теплового режима и защитного ресурса аппаратов.

Звягинцева Анна Викторовна, к.т.н., доц. В 1999 году закончила факультет экологии и химической технологии, в 2007 году получила квалификацию магистра программного обеспечения автоматизированных систем в Донецком национальном техническом университете (ДонНТУ). В 2006 году защитила кандидатскую диссертацию по специальности «Экологическая безопасность». С 2007 года доцент кафедры компьютерных систем мониторинга ДонНТУ. В марте 2018 года закончила докторантуру ДонНТУ, с сентября 2018 года работает зам. директора по международной деятельности Института инженерных и цифровых технологий Белгородского исследовательского университета. Опубликовано более 120 научных работ, в том числе 5 монографий. Научные интересы: системный анализ, теория опасности и риска, безопасность и управление техногенными и социально-экономическими системами.



Климко Григорий Тимофеевич, к.ф.-м.н., с.н.с. В 1970 году закончил Донецкий государственный университет по специальности «Физика». В 1983 году защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Теоретическая и математическая физика» в Вильнюсском государственном университете им. В. Капсукаса. С 1974 г. по 1995 г. работал в ИнФОУ НАН Украины, с 1995 года является доцентом Института искусственного интеллекта, с 2010 – доцентом кафедры компьютерных систем мониторинга Донецкого национального технического университета. Автор более 80 публикаций. Научные интересы: матрица плотности, спектральные, оптические и спиновые свойства квантово-механических систем с открытой оболочкой, случайное вырождение состояний фуллеренов и d-оболочки атома, нестабильности, фотоэлектронные спектры фуллеренов и углеродные нанотрубки.

Ковалева Лидия Александровна, к.ф.-м.н. В 2004 году закончила математический факультет Воронежского государственного университета, присуждена степень магистра по направлению «Математика». В 2014 году защитила диссертационную работу на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности «Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление». В настоящее время работает доцентом в Институте инженерных и цифровых технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета. Является автором более 20 публикаций. Область научных интересов: стратифицированные множества, комплексный, функциональный анализ, теория функций, краевые задачи для эллиптические систем.

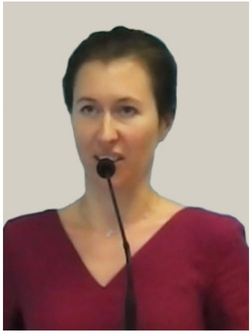
Куртова Лилиана Николаевна, к.ф.-м.н. В 2005 году закончила Белгородский государственный университет, по квалификации математик, преподаватель по специальности «Математика». В 2014 году защитила кандидатскую диссертацию на тему «Бинарные аддитивные задачи с квадратичными формами» по специальности «Математическая логика, алгебра и теория чисел». В настоящее время работает доцентом кафедры общей математики Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ». Является автором более 20 публикаций. Область научных интересов: аналитическая теория чисел, аддитивные задачи, оценка тригонометрических сумм. Занимается получением асимптотических формул для числа решений различных диофантовых уравнений и изучением свойств этих решений.

Синько Александра Александровна, магистрант. В 2017 году закончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ») по направлению подготовки «Прикладная математика и информатика» (бакалавриат). В настоящее время обучается в магистратуре НИУ «БелГУ» по специальности «Математика», а также работает в должности делопроизводителя кафедры общей математики Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ». Является автором 2 публикаций. Область научных интересов: системный анализ и теория систем, математическое моделирование и интеллектуальный анализ данных, модели социально-экономического развития.

Флоринский Владимир Вячеславович, к.ф.-м.н., доц. В 1977 году закончил механико-математический факультет Харьковского государственного университета, по специальности «Математика». В 2002 году защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» в Белгородском государственном университете, с 2003 года являлся доцентом кафедры математического анализа Белгородского государственного университета. В настоящее время работает доцентом кафедры общей математики Института инженерных и цифровых технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета. Является автором 47 публикаций. Область научных интересов: математическая теория оптимального управления, численные методы, математическое моделирование.

Флоринский Вячеслав Владимирович, к.ф.-м.н. В 2005 году закончил Белгородский государственный университет, по квалификации математик. В 2009 году защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Математическое моделирование, численные методы, комплексы программ». В настоящее время работает доцентом кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем Института энергетики, информационных технологий и управляющих систем Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. Является автором 26 научных и учебно-методический работ. Область научных интересов: математическое моделирование, анализ данных, машинное обучение, компьютерное зрение.

Чередникова Ольга Юрьевна, к.т.н. В 1995 году закончила Донецкий государственный технический университет, по квалификации инженер-программмист. В 2013 году защитила кандидатскую диссертацию по специальности «Автоматизация процессов управления». В настоящее время работает доцентом кафедры компьютерной инженерии факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета. Является автором около 30 научных публикаций. Область научных интересов: моделирование динамических процессов, создание компьютерных комплексов автоматизированного контроля и управления технологическими процессами.



Чернова Ольга Викторовна. В 2004 году закончила физико-математический факультет Белгородского государственного университета, по квалификации математик, преподаватель математики. В 2007 году закончила аспирантуру при Белгородском государственном университете по специальности «Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление». В настоящее время работает старшим преподавателем кафедры дифференциальных уравнений Института инженерных и цифровых технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета. Является автором более 30 научных работ. Область научных интересов: комплексный, функциональный анализ, теория функций, теория сингулярных интегральных уравнений, краевые задачи для эллиптических систем.

Швецова Анжела Александровна, аспирант кафедры экономики и моделирования производственных процессов Института экономики и управления Белгородского государственного национального исследовательского университета (НИУ «БелГУ»). В 2015 году закончила экономический факультет НИУ «БелГУ» по специальности «Правовое обеспечение внешнеэкономической деятельности», по квалификации экономист. В 2013–2015 годах обучалась в Научно-учебном центре иностранных языков НИУ «БелГУ» по программе дополнительного образования «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации» (уровень владения английским языком С1). Является автором 20 публикаций. Область научных интересов: стратегическое планирование и управление, комплексная оценка состояния и развития социально-экономических систем, законодательное обеспечение стратегического управления.

Шевцова Мария Витальевна, к.ф.-м.н. В 2003 году закончила физико-математический факультет Белгородского государственного университета (БелГУ), по квалификации учитель математики и информатики. С 2007 года работала на кафедре алгебры, теории чисел и геометрии БелГУ сначала в должности ассистента, потом – старшего преподавателя. В 2012 году защитила кандидатскую диссертацию по специальности «Математическая логика, алгебра и теория чисел». В настоящее время занимает должность доцента кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. Является автором 20 публикаций. Область научных интересов: дифференциальная геометрия, моделирование физических и социальных процессов.

Сведения об авторах на украинском языке

Аверін Геннадій Вікторович, д.т.н., проф. У 1980 році закінчив Миколаївський кораблебудівний інститут ім. адмірала С.О. Макарова, за кваліфікацією інженер-механік. У 1994 році захистив докторську дисертацію, з 2005 року професор по кафедрі комп'ютерних систем моніторингу. Веде викладацьку діяльність в Донецькому національному технічному університеті та Бєлгородському державному національному дослідницькому університеті. Є автором понад 150 публікацій, 15 монографій та навчальних посібників. Область наукових інтересів: системний аналіз і прикладна теорія систем, міждисциплінарні дослідження в області ноотехносфери і соціо-гуманітарних наук, комплексна оцінка природно-антропогенних систем, теорія небезпеки і ризику, інтелектуальний та багатовимірний аналіз емпіричних даних, інформаційні системи в галузі екологічної безпеки.

Аноприєнко Олександр Якович, к.т.н., доц. У 1979 році закінчив Донецький політехнічний інститут, за кваліфікацією інженер-системотехнік. У 1987 році захистив кандидатську дисертацію в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України (м. Київ). У 1989–1990 рр. пройшов 10-місячне наукове стажування по лінії Німецької служби академічних обмінів (DAAD) в Інституті високопродуктивних і розподілених суперЕОМ Штутгартського університету (Німеччина). З жовтня 2014 року по лютий 2015 року – в.о. ректора ДонНТУ. З 2015 року – завідувач кафедри комп’ютерної інженерії ДонНТУ. Є автором більш 300 публікацій та 7 монографій. Область наукових інтересів: інтернет-технології, комп’ютерне моделювання, закономірності розвитку та застосування комп’ютерних технологій.

Бєловодський Валерій Миколайович, к.т.н., доц. У 1971 році закінчив факультет фізико-математичних і природничих наук Університету Дружби народів ім. П. Лумумби за спеціальністю «Математика» (м. Москва), в 1982 році – аспірантуру Ризького політехнічного інституту за спеціальністю «Динаміка, міцність машин, приладів та обладнання», з 2003 року – доцент кафедри комп'ютерних систем моніторингу Донецького національного технічного університету. Є автором понад 100 наукових робіт, 8 авторських свідоцтв на винаходи, монографії та кількох підручників. Брав участь у низці міжнародних конференцій з проблем вібрації та теорії машин і механізмів (Прага, Ліберець, Лісабон). Область наукових інтересів: моделювання, нелінійні динамічні системи, часові ряди, фрактальне стиснення зображень, навчальні системи, реконструкція рівнянь, математичне проектування та фрактали.

Волошин Володимир Вікторович, д. філос. н., доцент. У 1995 році закінчив Донецький державний університет. За кваліфікацією історик, викладач історії. У 2013 захистив докторську дисертацію в Інституті філософії НАН України. Тема дисертації «Епістемологія релігії: парадигмальні основи та пізнавальні стратегії». У 2015–2016 рр. – професор кафедри теології Псковського державного університету. З 2016 року – професор кафедри філософії Донецького національного університету. Є автором понад 80 наукових праць, у тому числі кількох монографій. Область наукових інтересів: онтологія, епістемологія, історія та філософія науки, філософія релігії.

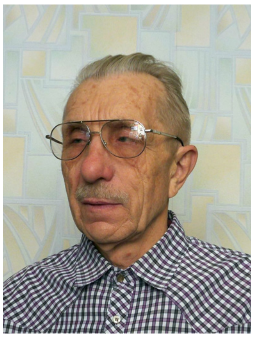
Достлєв Юрій Сергійович. Провідний інженер, за сумісництвом старший викладач кафедри комп’ютерної інженерії факультету комп’ютерних наук і технологій Донецького національного технічного університету. Є автором близько 40 наукових робіт. Область наукових інтересів: системи реального часу, дослідження динамічних характеристик параметрів реальних об’єктів, створення комп’ютерних комплексів автоматизованого контролю та управління технологічними процесами. Науково-технічна діяльність: проектування та дослідження апаратно-програмних комплексів систем реального часу та систем автоматичного управління технологічними процесами в різних областях.

 ISSN 2411-720X (Print) ISSN 2413-0834 (Online)

Єрошенко Яна Борисівна. У 2013 році закінчила федеральний державний автономний освітній заклад вищої освіти «Бєлгородський державний національний дослідницький університет (НДУ «БєлДУ») за напрямом підготовки «Математика та комп'ютерні науки». З 2016 року – старший викладач кафедри математичного та програмного забезпечення інформаційних систем Інституту інженерних та цифрових технологій НДУ «БєлДУ». Є автором 18 публікацій. Область наукових інтересів: системний аналіз і теорія систем, інтелектуальний аналіз даних, екологічний моніторинг, інформаційні системи в галузі охорони навколишнього середовища та глобалістики.

Єхілевський Степан Григорович, д.т.н., проф. У 1980 році закінчив Донецький державний університет, за кваліфікацією фізик-викладач. У 1992 році захистив кандидатську дисертацію, в 2003 – докторську. З 1998 по 2004 роки – професор Донецького національного технічного університету. З 2004 року – декан факультету інформаційних технологій Полоцького державного університету (Республіка Білорусь). Є автором понад 130 наукових публікацій. Напрями наукових досліджень: створення нових методів моделювання сорбційної активності регенеративних патронів ізолюючих дихальних апаратів, вдосконалення конструкцій дихальних апаратів завдяки оптимізації теплового режиму та захисного ресурсу апаратів.

Звягінцева Ганна Вікторівна, к.т.н., доц. У 1999 році закінчила факультет екології та хімічної технології, в 2007 році отримала кваліфікацію магістра програмного забезпечення автоматизованих систем в Донецькому національному технічному університеті (ДонНТУ). У 2006 році захистила кандидатську дисертацію за спеціальністю «Екологічна безпека». З 2007 року доцент кафедри комп’ютерних систем моніторингу ДонНТУ. У березні 2018 року закінчила докторантуру ДонНТУ, з вересня 2018 року працює заступником директора з міжнародної діяльності Інституту інженерних і цифрових технологій Бєлгородського дослідницького університету. Опубліковано понад 120 наукових робіт, в тому числі 5 монографій. Наукові інтереси: системний аналіз, теорія небезпеки та ризику, безпека та управління техногенними та соціально-економічними системами.



Климко Григорій Тимофійович, к.ф.-м.н., с.н.с. У 1970 році закінчив Донецький державний університет за спеціальністю «Фізика». У 1983 році захистив кандидатську дисертацію за спеціальністю «Теоретична та математична фізика» у Вільнюському державному університеті ім. В. Капсукаса. З 1974 р. по 1995 р. працював в ІнФОУ НАН України, з 1995 року є доцентом Інституту штучного інтелекту, з 2010 року – доцентом кафедри комп’ютерних систем моніторингу Донецького національного технічного університету. Автор понад 80 наукових публікацій. Наукові інтереси: матриця щільності, спектральні, оптичні та спінові властивості квантово-механічних систем з відкритою оболонкою, випадкове виродження станів фулеренів і d-оболонки атома, нестабільності, фотоелектронні спектри фулеренів і вуглецеві нанотрубки.

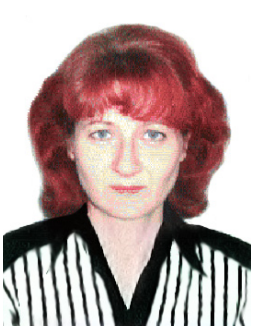
Ковальова Лідія Олександрівна, к.ф.-м.н. У 2004 році закінчила математичний факультет Воронезького державного університету, присуджено ступінь магістра за напрямом «Математика». У 2014 році захистила дисертаційну роботу на здобуття ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю «Диференціальні рівняння, динамічні системи і оптимальне управління». Нині працює доцентом в Інституті інженерних та цифрових технологій Бєлгородського державного національного дослідницького університету. Є автором більше 20 публікацій. Область наукових інтересів: стратифіковані множини, комплексний, функціональний аналіз, теорія функцій, крайові задачі для еліптичних систем.

Куртова Ліліана Миколаївна, к.ф.-м.н. У 2005 році закінчила Бєлгородський державний університет, за кваліфікацією математик, викладач за спеціальністю «Математика». У 2014 році захистила кандидатську дисертацію на тему «Бінарні адитивні задачі з квадратичними формами» за спеціальністю «Математична логіка, алгебра і теорія чисел». Нині працює доцентом кафедри загальної математики Інституту інженерних і цифрових технологій НДУ «БєлДУ». Є автором понад 20 публікацій. Область наукових інтересів: аналітична теорія чисел, адитивні задачі, оцінки тригонометричних сум. Займається отриманням асимптотичних формул для числа рішень різних діофантових рівнянь і вивченням властивостей цих рішень.

Синько Олександра Олександрівна, магістрант. У 2017 році закінчила Федеральний державний автономний освітній заклад вищої освіти «Бєлгородський державний національний дослідницький університет» (НДУ «БєлДУ») за напрямом підготовки «Прикладна математика та інформатика» (бакалавріат). Нині навчається в магістратурі НДУ «БєлДУ» за спеціальністю «Математика», а також працює на посаді діловода кафедри загальної математики Інституту інженерних і цифрових технологій НДУ «БєлДУ». Є автором 2 публікацій. Область наукових інтересів: системний аналіз і теорія систем, математичне моделювання та інтелектуальний аналіз даних, моделі соціально-економічного розвитку.

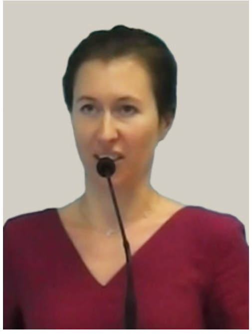
Флоринський Володимир В’ячеславович, к.ф.-м.н., доц. У 1977 році закінчив механіко-математичний факультет Харківського державного університету за спеціальністю «Математика». У 2002 році захистив кандидатську дисертацію за спеціальністю «Математичне моделювання, чисельні методи та комплекси програм» у Бєлгородському державному університеті, з 2003 року доцент кафедри математичного аналізу Бєлгородського державного університету. Нині працює доцентом кафедри загальної математики Інституту інженерних і цифрових технологій Бєлгородського державного національного дослідницького університету. Є автором 47 публікацій. Область наукових інтересів: математична теорія оптимального управління, чисельні методи, математичне моделювання.

Флоринський В'ячеслав Володимирович, к.ф.-м.н. У 2005 році закінчив Бєлгородський державний університет, за кваліфікацією математик. У 2009 році захистив кандидатську дисертацію за спеціальністю «Математичне моделювання, чисельні методи, комплекси програм». Нині працює доцентом кафедри програмного забезпечення обчислювальної техніки і автоматизованих систем Інституту енергетики, інформаційних технологій та управляючих систем Бєлгородського державного технологічного університету ім. В.Г. Шухова. Є автором 26 наукових та навчально-методичних робіт. Область наукових інтересів: математичне моделювання, аналіз даних, машинне навчання, комп'ютерний зір.



Череднікова Ольга Юріївна, к.т.н. У 1995 році закінчила Донецький державний технічний університет, за кваліфікацією інженер-програміст. У 2013 році захистила кандидатську дисертацію за спеціальністю «Автоматизація процесів управління». Нині працює доцентом кафедри комп’ютерної інженерії факультету комп’ютерних наук і технологій Донецького національного технічного університету. Є автором близько 30 наукових публікацій. Область наукових інтересів: моделювання динамічних процесів, створення комп’ютерних комплексів автоматизованого контролю та управління технологічними процесами.

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)



Чернова Ольга Вікторівна. У 2004 році закінчила фізико-математичний факультет Бєлгородського державного університету, за кваліфікацією математик, викладач математики. В 2007 році закінчила аспірантуру при Бєлгородському державному університеті за спеціальністю «Диференціальні рівняння, динамічні системи і оптимальне управління». Нині працює старшим викладачем кафедри диференціальних рівнянь Інституту інженерних і цифрових технологій Білгородського державного національного дослідницького університету. Є автором понад 30 наукових робіт. Область наукових інтересів: комплексний, функціональний аналіз, теорія функцій, теорія сингулярних інтегральних рівнянь, крайові задачі для еліптичних систем.

Швецова Анжела Олександрівна, аспірант кафедри економіки та моделювання виробничих процесів Інституту економіки та управління Бєлгородського державного національного дослідницького університету (НДУ «БєлДУ»). У 2015 році закінчила економічний факультет НДУ «БєлДУ» за спеціальністю «Правове забезпечення зовнішньоекономічної діяльності», за кваліфікацією економіст. У 2013–2015 роках навчалася в Науково-навчальному центрі іноземних мов НДУ «БєлДУ» за програмою додаткової освіти «Перекладач у сфері професійної комунікації» (рівень володіння англійською мовою С1). Є автором 20 публікацій. Область наукових інтересів: стратегічне планування та управління, комплексна оцінка стану та розвитку соціально-економічних систем, законодавче забезпечення стратегічного управління.

Шевцова Марія Віталіївна, к.ф.-м.н. У 2003 році закінчила фізико-математичний факультет Бєлгородського державного університету (БєлДУ), за кваліфікацією вчитель математики та інформатики. З 2007 року працювала на кафедрі алгебри, теорії чисел і геометрії БєлДУ спочатку на посаді асистента, потім – старшого викладача. У 2012 році захистила кандидатську дисертацію за спеціальністю «Математична логіка, алгебра та теорія чисел». Нині займає посаду доцента кафедри програмного забезпечення обчислювальної техніки та автоматизованих систем Бєлгородського державного технологічного університету ім. В.Г. Шухова. Є автором 20 публікацій. Область наукових інтересів: диференціальна геометрія, моделювання фізичних і соціальних процесів.

Сведения об авторах на английском языке

Gennadiy Averin, Doctor of Engineering Sciences, Full Professor. In 1980 he graduated from Admiral Makarov Nikolaev Shipbuilding Institute with a qualification of engineer-mechanic. In 1994 defended his doctoral thesis, since 2005 he is a Full Professor at the Department of Computer Monitoring Systems of the Donetsk National Technical University (DonNTU). Currently he simultaneously teaches at DonNTU and Belgorod State National Research University (BelSU). He is the author of over 150 publications, 15 monographs and textbooks. Research interests: system analysis and applied system theory, interdisciplinary research in the field of the nootechnosphere, social and humanitarian sciences, integrated assessment of natural and anthropogenic systems, hazard and risk theory, intelligent and multidimensional analysis of empirical data, information systems in the field of environmental safety.

Alexander Anoprienko, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor. In 1979 he graduated from Donetsk Polytechnic Institute as a system engineer. In 1987 he defended his thesis for the degree of Candidate of Engineering Sciences at the Institute of Modeling Problems in Power Engineering of NAS of Ukraine (Kyiv). In 1989 – 1990 he had the 10-month research internship through the German Academic Exchange Service (DAAD) at the Institute for High Performance and Distributed Supercomputers at Stuttgart University (Germany). From October 2014 to February 2015 – Rector of Donetsk National Technical University (DonNTU). Since 2015 – Head of the Department of Computer Engineering of DonNTU. He is the author of over 300 publications and 7 monographs. Research interests: internet technologies, computer simulation, past and future of computer technologies.

Valeriy Belovodskiy, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor. In 1971 graduated from the Lumumba Friendship University in specialty “Mathematics” (Moscow), in 1982 – postgraduate study at the Riga Polytechnic Institute with a degree in “Dynamics, Strength of Machines, Devices and Equipment”, since 2003 is an Associate Professor at the Department of Computer Monitoring Systems of the Donetsk National Technical University (Donetsk). Is the author of more than 100 scientific papers, 8 copyright certificates for inventions, a monograph and several textbooks. He participated in a number of international conferences on vibration problems and theory of machines and mechanisms (Prague, Liberec, Lisbon). Research interests: modeling, nonlinear dynamical systems, time series, fractal image compression, reconstruction of equations, training systems, mathematical design and fracrals.

Vladimir Voloshin, Doctor of Philosophical Sciences, associate professor. He graduated from Donetsk National University in 1995 by qualification historian, history teacher. He defended his thesis at the Institute of Philosophy , National Academy of Sciences of Ukraine. The topic of the thesis was «Epistemology of Religion: Paradigmal Bases and Cognitive Strategies». In 2015-2016 he took a position of a professor at the Theology Department of Pskov State University. Since 2016 he is a professor of the Philosophy Department at Donetsk National University. He is the author of more than 80 scientific works including a several monographs. His scientific interests cover ontology, epistemology, history and philosophy of science, philosophy of religion.

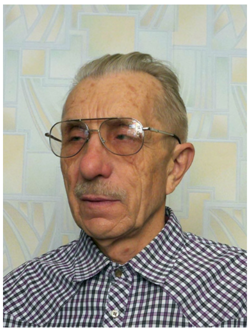
Yuri Dostlev. Senior Engineer, part-time Senior Lecturer at the Department of the Computer Engineering of the Faculty of Computer Sciences and Technologies of the Donetsk National Technical University. Is the author of about 40 scientific papers. Research interests: real-time systems, research of dynamic characteristics of real objects, creation of computer complexes for the automated control and management of technological processes. Scientific and technical activities: design and research of hardware and software of real-time systems, automatic control systems of technological processes in various fields.

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)

Yana Eroshenko. She graduated from the Federal state Autonomous educational institution of higher education "Belgorod National Research University" (NRU "BelSU") in the field of Mathematics and Computer Science in 2013. Since 2016- senior lecturer at the Department of Mathematical and Software Information Systems of the Institute of Engineering and Digital Technologies of NRU "BelSU". She is the author of 18 publications. Research interests: system analysis and system theory, data mining, environmental monitoring, information systems in the field of environmental protection and globalistics.

Stepan Ekhilevsky, Doctor of Engineering Sciences, Full Professor. In 1980 he graduated from the Donetsk State University as physics teacher. In 1992 defended his candidate thesis, in 2003 – doctoral thesis. Since 1998 he is a Professor of the Donetsk National Technical University, since 2004 – the Dean of the Faculty of Information Technologies at Polotsk State University (Republic of Belarus). He is the author of more than 130 scientific publications. Directions of scientific researches: creation of new methods of modeling of dynamic sorption activity of regenerative cartridges of the isolating respiratory devices, improvement of designs of respiratory devices due to optimization of the thermal mode and a protective resource of devices.

Anna Zviagintseva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor. In 1999 she graduated from the Faculty of Ecology and Chemical Technologies on specialty "Ecology and Environmental Protection", in 2007 received a master's degree in Software of Automated Systems at the Donetsk National Technical University (DonNTU). In 2006 defended her thesis on the specialty "Environmental security", since 2007 is Associate Professor at the Department of Computer Monitoring Systems DonNTU. In March 2018 she completed her doctorate at DonNTU, and since September 2018 she has been working as Deputy Director for International Activities at the Institute of Engineering and Digital Technologies at Belgorod Research University. Published more than 120 scientific works papers, including 5 monographs. Research interests: system analysis, hazard and risk theory, safety and management of technogenic and socio-economic systems.



Gregory Klimko, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Research Officer. In 1970 graduated from Donetsk State University in specialty "Physics". In 1983 he defended his candidate thesis on the specialty "Theoretical and Mathematical Physics" at V. Kapsukas Vilnius State University. From 1974 to 1995 worked at the Research Institute of Physical-organic and Coal chemistry of NAS of Ukraine. Since 1995 is an Associate Professor at the Institute of Artificial Intelligence, since 2010 – Associate Professor at the Department of Computer Monitoring Systems of the Donetsk National Technical University. The author of over 80 scientific publications. Research interests: density matrix, spectral, optical and spin properties of quantum mechanical systems with an open shell, the accidental degeneracy of states of the fullerenes and the d-shell of the atom, instability, photoelectron spectra of fullerenes and carbon nanotubes.

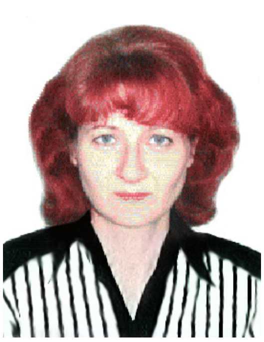
Lidia Kovaleva, Candidate of Physical and Mathematical Sciences. She graduated from the faculty of mathematics at Voronezh State University in 2004 and received a master's degree in "Mathematics". In 2014 she defended her thesis for the degree of Candidate of Physical and Mathematical Sciences in the specialty "Differential Equations, Dynamic Systems and Optimal Control". Currently, she works as an Associate Professor at the Institute of Engineering and Digital Technologies of the Belgorod State Research University. She is the author of more than 20 publications. Research interests: stratified sets, complex, functional analysis, function theory, boundary value problems for elliptic systems.

Liliana Kurtova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences. In 2005 she graduated from the State Educational Institution of Higher Professional Education “Belgorod State University” with a qualification of mathematician, tutor on the specialty “Mathematics”. In 2014 she defended her thesis “Binary additive problems with quadratic forms” by specialty “Mathematical Logic, Algebra and Number Theory”. Currently she is an Associate Professor at the Department of General Mathematics at the Institute of Engineering and Digital Technologies of the Belgorod State National Research University. She is the author of more than 20 scientific publications. Research interests: analytical theory of numbers, additive problems, estimation of trigonometric sums. She is working to obtain asymptotic formulas for the number of solutions of Diophantine equations and research the properties of these solutions.

Alexandra Sinko, Master's Degree Student. She graduated from the Federal State Autonomous Educational Institution of higher education “Belgorod State Research University” (NRU “BelSU”) in the field of Applied Mathematics and Computer Science (bachelor's degree) in 2017. Currently, she is studying for a master's degree in Mathematics at NRU “BelSU” and also working as a clerk of the Department of General Mathematics at the Institute of Engineering and Digital Technologies of NRU “BelSU”. She is the author of 2 publications. Research interests: system analysis and system theory, mathematical modeling and data mining, models of socio-economic development.

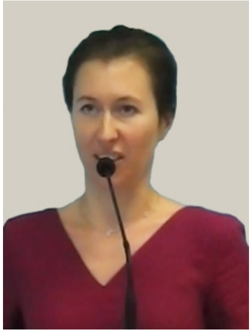
Vladimir Florinsky, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor. In 1977 he graduated from Faculty of Mechanics and Mathematics of Kharkov State University by specialty “Mathematics”. In 2002 he defended his thesis by specialty “Mathematical Modeling, Numerical Methods and Program Complexes” at the Belgorod State University, since 2003 he is an Associate Professor at the Mathematical Analysis Department of the Belgorod State University. Currently he is an Associate Professor at the Department of General Mathematics of the Institute of Engineering and Digital Technology of Belgorod State National Research University. He is the author of over 47 publications. Research interests: mathematical theory of optimal control, numerical methods, mathematical modeling.

Vyacheslav Florinsky, Candidate of Physical and Mathematical Sciences. He graduated from the Belgorod State University with a degree in mathematics in 2005. In 2009 he defended the thesis on specialty of “Mathematical modeling, numerical methods, software packages”. Currently, he is an Associate Professor at the Department of Computer Software and Automated Systems of the Institute of Energy, Information Technology and Control Systems of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. He is the author of 26 scientific and educational works. Research interests: mathematical modeling, data analysis, machine learning, computer vision.



Olga Cherednikova, Candidate of Engineering Sciences. In 1995 she graduated from Donetsk State Technical University (DonNTU) with a qualification of engineer-programmer. In 2013 she defended her thesis by specialty “Automation of Control Processes”. Currently, she is an Associate Professor at the Department of Computer Engineering of the Faculty of Computer Science and Technology of Donetsk National Technical University. She is the author of about 30 scientific publications. Research interests: modeling of dynamic processes, creation of computer systems of automated process control and management.

ISSN 2411-720X (Print)
ISSN 2413-0834 (Online)



Olga Chernova. In 2004 she graduated from the Faculty of Physics and Mathematics of the Belgorod State University with a qualification of mathematician and teacher of mathematics. In 2007 she completed the graduate school at BSU by specialty “Differential Equations, Dynamical Systems and Optimal Control”. Currently she works as a Senior Lecturer at the Department of Differential Equations, Institute of Engineering Technologies and Digital Technologies, Belgorod State National Research University. He is the author of more than 30 scientific papers. Research interests: complex, functional analysis, function theory, theory of singular integral equations, boundary value problems for elliptic systems.

Angela Shvetsova, Postgraduate at the Department of Economics and Modeling of Production Processes of the Institute of Economics and Management of Belgorod State National Research University (NRU “BelSU”). In 2015 graduated from the Faculty of Economics of the NRU “BelSU” with a degree in “Legal Support of Foreign Economic Activity”, she is an economist by qualification. In 2013–2015 she studied at the Research and Training Center of Foreign languages of NRU “BelSU” under the program of additional education “Translator in the Field of Professional Communication” (English proficiency level C1). The author of 20 publications. Research interests: strategic planning and management, integrated assessment of the state and development of socio-economic systems, legislative support of strategic management.

Maria Shevtsova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences. In 2003 she graduated from the Faculty Physics and Mathematics of the Belgorod State University (BelSU) with qualification teacher of mathematics and informatics. Since 2007 she worked at the Department of Algebra, Number Theory and Geometry at the BelSU, first as an Assistant, then as a Senior Teacher. In 2012 she defended her thesis by specialty “Mathematical logic, Algebra and Number Theory”. Currently, she holds the position of Associate Professor of the Department of Computer Software and Automated Systems of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. She is the author of 20 publications. Research interests: differential geometry, modeling of physical and social processes.

Научное издание

**Системный анализ и информационные технологии
в науках о природе и обществе
Сборник научных трудов**

(на русском, украинском, английском языках)

№1(14)–2(15)'2018

Ответственный за выпуск *А.В. Звягинцева*
Технические редакторы *В.Н. Беловодский, А.С. Хоруженко*
Компьютерная верстка *В.А. Павлий*
Дизайн обложки *М.Б. Бобелюк*

Подписано к печати 25.12.2018. Формат 60×84 $^{1}/_{8}$.
Бумага офсетная. Печать ризографическая.
Усл. печ. лист. 9,7. Уч.-изд. лист. 6,9.
Тираж 100 экз.

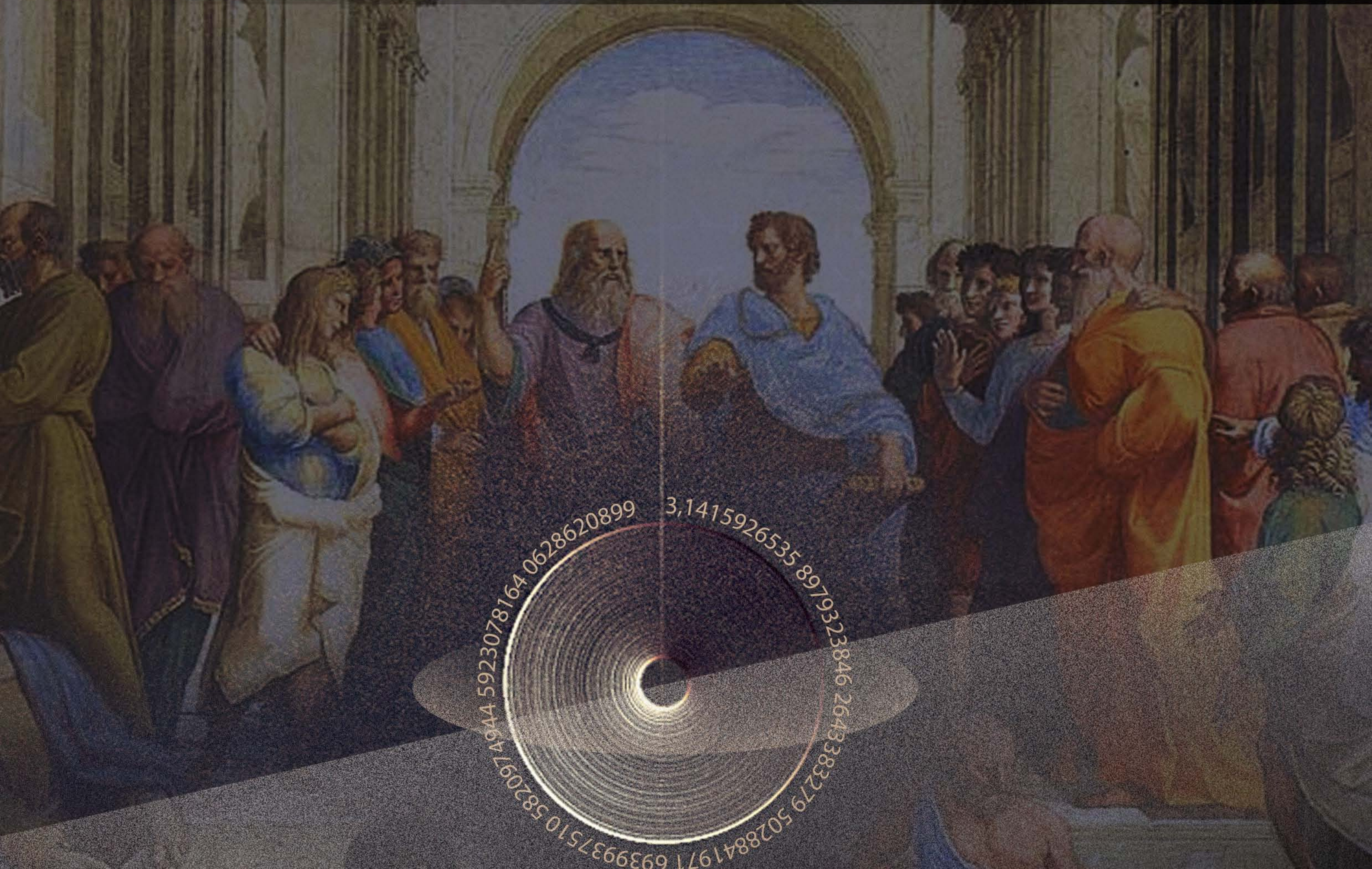
Адрес редакции: 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГОУ ВПО «ДонНТУ», 4-й учебный корпус, к. 20, а. Тел.: +38 (062) 301-08-51 E-mail: anna_zv@ukr.net, averin.gennadiy@gmail.com
URL: http://sait.csm.donntu.org; http://csm.donntu.org/ru/node/120;
http://sait.donntu.org; http://cmd.donntu.org/ru/node/120

Издатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет»
83001, г. Донецк, ул. Артема, 58. Тел.: +38 (062) 301-08-67, +38 (062) 301-09-67

Свидетельство о государственной регистрации субъекта издательского дела:
серия ДК №2982 от 21.09.2007

Отпечатано ООО фирма «ДРУК-ІНФО»
83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, к. 113, тел.: +38 (062) 335-64-55

Факультет компьютерных наук и технологий
Тел: +38062 345-09-35
http://cs.donntu.org



9 772411 720006 01

Кафедра компьютерного
моделирования и дизайна
Тел: +3 8062 301-08-51
Web site: http://cmd.donntu.org
E-mail: anna_zv@ukr.net